



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÝ PROJEKT VÝROBY HŘÍDELE

TECHNOLOGICAL DESIGN OF SHAFT PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Veselý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Ondřej Veselý**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologický projekt výroby hřídele

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Součást "hřídel" je po teoretickém návrhu a rozboru výroby vyrobena jako prototyp s využitím SW Edgecam.

Cíle bakalářské práce:

- Konstrukce součástí.
- Výběr polotovaru pro výrobu.
- Přiřazení strojů.
- Sestavení technologického procesu.
- Kapacitní propočet.
- Výroba vzorku součástí.
- Zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.


ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 17. 10. 2018




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu


doc. Ing. Jaroslav Katolický Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce na téma Technologický projekt výroby hřídele se zabývá problematikou obráběcích procesů za účelem realizace výroby v podmínkách sériové výroby, a to na základě výkresu součásti, kdy je postupně stanoven vhodný materiál a polotovár pro následující technologické postupy. Tomu jsou přiřazeny vhodné stroje a nástroje, dále je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení související s procesem výroby. Závěrem bude využito CAD/CAM technologií, součást v podobě prototypu bude vyrobena na CNC stroji za pomoci softwaru Edgecam.

Klíčová slova

hřídel, technologický proces, obrábění, výroba, Edgecam

ABSTRACT

Bachelor thesis on Technological design of shaft production deals with machining processes in order to realization of production in the conditions of series production, based on the drawing of the part, when the appropriate material and semi-finished product is gradually determined following technological process. This is assigned to suitable machines and tools, the technical – economic evaluation related to the production process is carried out. In conclusion it will be used CAD/CAM technology, the prototype component will be made on CNC machine using Edgecam software.

Key words

shaft, technological process, machining, manufacture, Edgecam

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VESELÝ, Ondřej. *Technologický projekt výroby hřídele* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116517>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Technologický projekt výroby hřídele** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....19.5. 2019.....

Datum

.....
Ondřej Veselý

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za věnovaný čas, cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Střední škole průmyslové, technické a automobilní Jihlava za umožnění výroby součásti, konkrétně Ing. Michalu Hillovi za cenné rady a zkušenosti.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 KONSTRUKCE SOUČÁSTI.....	10
1.1 Technologičnost konstrukce	11
2.1.1 Hlavní ukazatelé technologičnosti.....	13
1.2 Materiál součásti.....	14
1.3 Tepelné zpracování.....	15
2 VÝBĚR POLOTOVARU PRO VÝROBU	16
2.1 Volba polotovaru	16
2.2 Propočet tyčového polotovaru	17
2.2.1 Varianta 1	17
2.2.2 Varianta 2	19
2.3 Výpočet normy spotřeby materiálu	20
3 PŘÍŘAZENÍ STROJŮ.....	25
3.1 Strojový park	25
4 SESTAVENÍ TECHNOLOGICKÉHO PROCESU	28
4.1 Použité nástroje	28
4.2 Upnutí nástrojů	30
4.3 Použitá kontrolní měřidla	31
4.4 Použití procesní kapaliny	32
4.5 Technologický postup a návodky	32
4.6 Stanovení řezných podmínek a jednotkových strojních časů	33
4.6.1 Stanovení řezné rychlosti	33
4.6.2 Stanovení jednotkových strojních časů pro soustružení.....	33
5 TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	35
5.1 Stanovení výrobního času.....	35
5.2 Výpočet spotřeby nástrojů.....	36
5.3 Výkonnost obrábění pro soustruh Hardinge Talent 8/52.....	36
5.4 Kalkulace nákladů	37
5.4.1 Spotřeba elektrické energie	38

5.4.2	Cena dodávaných tyčových polotovarů	38
5.4.3	Cena výroby hřídele	39
5.5	Kapacitní propočty	39
5.5.1	Potřebný počet strojních pracovišť	39
5.5.2	Výpočet provozní podlahové plochy	40
6	VÝROBA VZORKU SOUČÁSTI	41
6.1	Vytvoření simulace pro obrábění v softwaru Edgecam	41
6.2	Výroba prototypové hřídele	43
6.3	Měření parametru Ra na vybrané ploše	46
7	ZHODNOCENÍ	48
7.1	Další varianty procesu výroby	48
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	50
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	52
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

ÚVOD

Problematika výroby rotačních součástí je ve výrobních podnicích velmi diskutované a vyskytující se téma. Rotační součást typu hřídel, znázorněná na obr. 0.1 je jedním z příkladů těchto součástí. Tyto konstrukční prvky patří k nejčastěji vyráběným součástím ve strojírenské výrobě. Z toho plyne neustálé zdokonalování a optimalizace technologických procesů, jelikož konkurence je v této oblasti značně vysoká. Systematickými postupy lze docílit vhodné varianty výroby. Nejprve je provedena technologická příprava výroby za podmínek sériové výroby, konkrétně konstrukčně technologický rozbor, na který navazuje volba vhodného polotovaru pro výrobu. Jako polotovar pro strojní obrábění se využívá hutního materiálu, dle rozsahu použití především válcovaného za tepla, či za studena. Sestavení technologického procesu řeší problematiku volby vhodných strojů a zejména nástrojů. V této práci bude využito efektivních CNC strojů a vyměnitelných břitových destiček (VBD) ze slinutých karbidů umožňujících dosáhnout vyšších řezných a posuvových rychlostí, a tím pádem nižších strojních časů, které umožňují nižší náklady na výrobu. Nedílnou součástí výrobní etapy je sestavení technologického postupu v konkrétním sledu operací, dále také vypracování operačních návodů pro jednotlivá pracoviště, obsahující údaje o řezných podmínkách. Závěr bude věnován kapacitním propočtům a technicko – ekonomickému zhodnocení. Pro zajištění správného chodu výroby považují toto téma za důležité. Do této problematiky vstupují nejenom údaje o časové náročnosti výroby, ale také organizační činnosti spojené s efektivitou výroby, jako např. zajištění dostatečného počtu strojního vybavení (stroje, nástroje, měřicí vybavení), zajištění potřebného počtu pracovníků výroby a dostatečné výrobní plochy. Realizovaná výroba prototypu hřídele bude s využitím CAD/CAM technologií, konkrétně bude použit program Edgecam verze 2017 R1. V programu bude vytvořena simulace obrábění, jejíž vygenerované ISO kódy v NC programu jsou základem pro výrobu na CNC stroji. Drsnoměrem se změří hodnoty Ra po výrobě, která proběhne v areálu Střední školy průmyslové, technické a automobilní Jihlava, kde se právě výše uvedeným softwarem zabývají.



Obr. 0.1 3D model vyráběné hřídele.

1 KONSTRUKCE SOUČÁSTI

Rotační součásti typu hřídel mají velice široké uplatnění v různých průmyslových odvětvích. Hřídel obecně slouží k přenosu kroutících momentů, např. pomocí drážek pro pero lze přenést krouticí moment na ozubená kola, která bývají nedílnou součástí sestav uložení hřídelů. Další konstrukční prvky (zejména u osazených hřídelů) mohou sloužit pro nalisování ložisek a jejich těsnění, zde je kladen požadavek na přesnost výroby pro správné uložení z hlediska rozměrové a geometrické přesnosti. Dále je možné vyrábět hřídele se závity. Pro lepší mechanické vlastnosti se při těchto výroбах také uplatňují tepelná zpracování, např. kalení, které zajistí lepší mechanické vlastnosti a větší tvrdost součástí.

Pro vyráběnou hřídel (obr. 1.1) budou postupně rozebrány technologické aspekty pro výrobu.



Obr. 1.1 Vyráběná hřídel.

Výkres součásti

Výrobní výkres hřídele je dostupný v příloze 1.

Konstrukční analýza

Při obrábění rotačních součástí se podíl pracnosti hlavních technologií výroby pohybuje dle literatury [2] v těchto intervalech:

- soustružení: 25–50 %,
- broušení: 10–26 %,
- frézování: 10–20 %,
- vrtání: 3–6 %.

Tyto hodnoty jsou závislé na konkrétním typu součásti, kde se mohou použité technologie obrábění značně lišit. Pro naši výrobu například odpadá technologie vrtání, nicméně pracnost soustružení bude v našem případě značná. Sortiment součástí bývá z hlediska součástkové analýzy rozdělen podle štíhlostního poměru do skupin.

Pro skupinu hřídelů platí, že štíhlostní poměr je v rozmezí od 3 do 6. Pokud je tento poměr nižší, jedná se o součásti typu přírub, pouzder a čepů, pokud naopak by byl štíhlostní poměr vyšší než 6, jedná se o tyče [2].

Toto rozdělení se ověří podle následujícího vztahu [2] (1.1):

$$\lambda = \frac{L}{D} [-] \quad (1.1)$$

kde: $\lambda [-]$ - štíhlostní poměr,
 $L [mm]$ - délka součásti,
 $D [mm]$ - největší průměr součásti.

$$\lambda = \frac{164}{40} = 4,1$$

Navržená hřídel spadá do charakteristické konstrukční analýzy. Díky tomuto rozdělení je možno lépe naprojektovat výrobní proces, např. z hlediska automatizace nebo z pohledu dispozičního řešení strojů (výroba technologicky podobných typů součástí na konkrétním pracovišti). Na základě hodnoty štíhlostního poměru bude zvážena možnost podepření obrobku otočným hrotem při upnutí.

1.1 Technologičnost konstrukce

Technologičnost konstrukce nelze brát jako obecný pojem pro veškeré součásti. Jinými slovy, technologičnost konstrukce je pro každou konkrétní součást specifická. V zásadě se jedná o předepsání a určení optimálního způsobu a sledu výrobního procesu k dosažení co nejehospodárnějších výsledků při respektování vstupních parametrů, jako jsou materiály, tvary a předepsané jakosti povrchů.

Podle literatury [3] má na technologičnost konstrukce zejména vliv:

- volba výchozího materiálu a jeho rozměry,
- volba materiálu součásti,
- tvar, přesnost, předepsaná jakost povrchu a počty vyráběných kusů,
- celkové konstrukční pojetí součásti nebo celku.

Zásady hodnocení technologičnosti

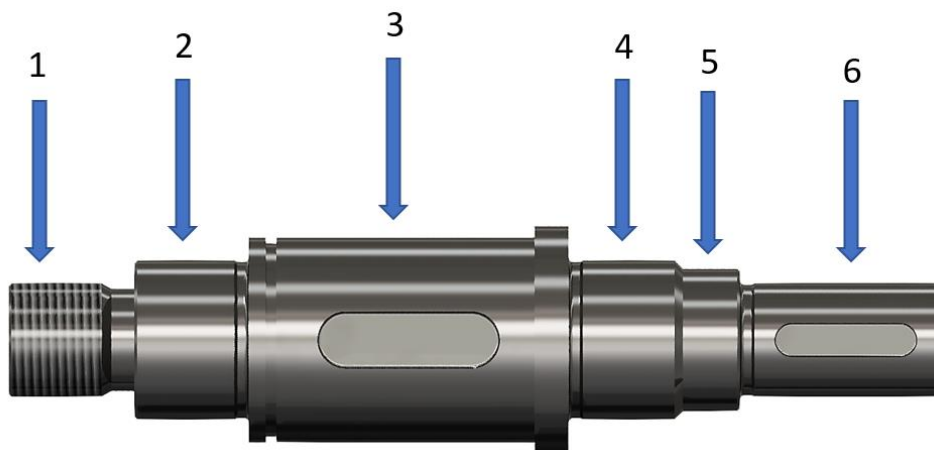
- dodržení tvaru a geometrie → správná volba polotovaru, obrábění pouze funkčních ploch, ostatní plochy pokud možno neobrábět,
- dodržení výrobních úchylek, rozměrů a jakosti → zajištění funkčnosti, nepředepisovat malé tolerance nebo kvalitnější jakosti povrchu, než jsou potřebné pro zajištění správné funkce,
- z hlediska vztahu mezi jakostí povrchu a stupněm lícování,
- jednotnost základen → konstrukční základna současně technologickou základnou, ustavovací základny pro upnutí součásti volit tak, aby byla jednoznačně určená poloha součásti při obrábění [4].

Základní údaje o součásti:

- druh výroby: sériová s výrobním množstvím 1500 ks ročně,
- oboustranně osazená hřídel se stejnými průměry na obou koncích, stupňovitá hřídel,
- celková délka 164 mm, největší průměr 40 mm, nejmenší průměr 18 mm,

- obsahuje pouze válcové plochy, nikoliv kuželovité (zvýší pracnost obrábění),
- na funkční plochy jsou kladeny rozměrové a geometrické tolerance,
- vyšší požadavky na jakost povrchu,
- vnitřní vybrané přechody zaobleny, vnější zkoseny → technologicky správně.

Na obr. 1.2 jsou vyznačeny funkční plochy, které budou detailněji podrobeny rozboru.



Obr. 1.2 Funkční plochy hřídele.

Rozbor vyznačených funkčních ploch:

Plocha 1

Metrický závit M20 se stoupáním $P = 1,5$ mm udává jemnější stoupání. Podle [4], toleranční úchylka 6g uvádí střední druh lícování pro všeobecné použití, spojení se zaručenou vůlí, přednostně používána. Délka funkční části závitu je 18 mm.

Plocha 2

Z jedné strany sražená hrana, z druhé strany zápich tvaru $G2,5 \times 0,3$. Rozměr $\varnothing 28$ se základní úchylkou přesnosti k6 (dle [5] $\varnothing 28^{+0,015}_{+0,002}$) odpovídá stupni přesnosti IT6. Předepsaný požadavek obalové plochy zohledňuje přesnost měřené hodnoty při horním mezním rozměru. Jakost povrchu R_a je $0,8 \mu\text{m}$. Je zde předepsána tolerance válcovitosti $0,004$ mm. Tyto parametry odpovídají ploše předepsané pro ložiska.

Plocha 3

Na $\varnothing 36$ js6, (dle [5] $\varnothing 36 \pm 0,008$), o délce 50 mm, odpovídajícímu stupni přesnosti IT6 a jakosti povrchu $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ je vyfrézována drážka pro pero o rozměrech 32×10 mm, požadavek geometrické tolerance celkového házení $0,02$ mm předepisuje zvýšené nároky na výrobu. Z jedné strany plochy bude zapichovacím nožem vytvořena drážka o šířce 1,85 H13 (dle [4] $1,85^{+0,39}$) do $\varnothing 34$ mm. Z druhé strany je rádius $R1$ z důvodu koncentrace napětí v přechodové oblasti, která navazuje na nefunkční plochu o největším $\varnothing 40$ mm a délce 6 mm. Podle předepsaných parametrů se jedná o plochu hřídele, kde bude nasazeno ozubené kolo. Drážka 1,85 H13 je předepsána pro pojistný kroužek.

Plocha 4

Tato plocha je totožná s plochou 2, tedy s předepsanými parametry pro uložení ložiska. Z jedné strany předepsán zápich tvaru G, z druhé strany zkosení o délce 1,5 mm pod úhlem 45° .

Plocha 5

Na tuto část hřídele je kladen požadavek hlavně na jakost povrchu, konkrétně $R_a = 0,4 \mu\text{m}$, pro tento požadavek bude nutná operace broušení. Na součásti proto budou navrtány středící důlky pro možnost upnutí mezi hroty. Rozměr $\varnothing 25 \text{ h8}$, (dle [5] $\varnothing 25_{-0,033}$) odpovídá stupni přesnosti IT8. V této části bude uloženo gufero, zajišťující utěsnění hřídele.

Plocha 6

Jedná se o válcový konec hřídele o $\varnothing 20 \text{ js6}$, (dle [5] $\varnothing 20 \pm 0,0065$) se stupněm přesnosti IT6. Délka je 36 mm s jakostí povrchu $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Zkosení konce hřídele je $1 \times 30^\circ$. Pozornost je zvýšena u geometrické tolerance celkového házení $0,016 \text{ mm}$. V oblasti přechodu je zápich tvaru G. Drážka pro pero bude frézována na rozměr $25 \times 6 \text{ mm}$, která slouží k přenosu kroutícího momentu, například pro uložení řemenice.

Hodnoty $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ lze soustružit dokončovacím nástrojem za vhodných řezných podmínek při požadovaných parametrech obráběcího stroje, avšak jedná se o hodnotu hraniční. Ve strojních podnicích se v sériových výrobcích pro větší nároky přesnosti využívají brousicí stroje.

2.1.1 Hlavní ukazatelé technologičnosti

Dávají nám základní přehled o součásti z více hledisek. Při posuzování vhodné volby materiálu a polotovaru jsou tyto informace cenné a komplexně ukazují složitost výroby, průměrné jakosti povrchů, pracnost a efektivitu. Následující vztahy jsou převzaty z literatury [4].

Ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy

$$U_h = \frac{\sum_{i=1}^h H_i \cdot n_i}{n_\Sigma} [\mu\text{m}] \quad (1.2)$$

- kde: $U_h [\mu\text{m}]$ - ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy,
 $H_i [\mu\text{m}]$ - střední aritmetická úchylka profilu R_a ,
 $n_i [-]$ - četnost výskytu dané hodnoty R_a ,
 $n_\Sigma [-]$ - četnost výskytu všech hodnot R_a .

$$U_h = \frac{0,4 \cdot 1 + 0,8 \cdot 4 + 3,2 \cdot 3 + 6,3 \cdot 3}{11} = 2,92 \mu\text{m}$$

Ukazatel průměrné přesnosti

$$U_p = \frac{\sum_{i=1}^h P_i \cdot n_i}{n_\Sigma} [-] \quad (1.3)$$

- kde: $U_p [-]$ - ukazatel průměrné přesnosti,
 $P_i [\mu\text{m}]$ - toleranční stupeň IT dané operace ($h6 = 6$),
 $n_i [-]$ - četnost výskytu dané tolerance,
 $n_\Sigma [-]$ - celková četnost výskytu všech tolerancí.

$$U_p = \frac{13 \cdot 1 + 11 \cdot 3 + 9 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 6 \cdot 5}{12} = 8,5$$

Ukazatel využití materiálu

$$U_m = \frac{Q_s}{Q_p} [-] \quad (1.4)$$

kde: U_m [-] - ukazatel využití materiálu,
 Q_s [kg] - čistá hmotnost součásti,
 Q_p [kg] - hmotnost přířezu.

$$U_m = \frac{0,813}{2,072} = 0,392$$

Čistá hmotnost součásti byla spočtena programem Autodesk Inventor Professional 2019.

Ukazatel jakosti podle vztahu (1.2) je 2,92 μm , což lze řadit mezi vyšší nároky na výrobu, tomuto faktu napovídá také výsledek průměrné přesnosti povrchu (1.3), konkrétně 8,5. Součást bude značně obráběna, jelikož využití materiálu (1.4) je nižší.

1.2 Materiál součásti

Pro správnou funkčnost hřídele byla zvolena třída oceli 12, konkrétně materiál C45R (12 050). Dle normy ČSN EN 10083-2 se jedná o nelegovanou konstrukční ocel vhodnou k zušlechťování a povrchovému kalení plamenem, zajišťující lepší mechanické a technologické vlastnosti. Mechanické a chemické vlastnosti jsou pro nelegované oceli předepsány. Obrobitelnost může být ztížena ve stavu válcovaném vlivem vyšší pevnosti. Pro třískové obrábění je doporučen materiál C45R se zlepšenou obrobitelností ve stavu tepelně zpracované oceli (žihání na měkko) se zvýšeným obsahem síry S (0,02-0,04%) [6].

Použití této oceli je vhodné pro hřídele turbokompresorů, čerpadel, těžních strojů, automobilové klikové hřídele, ojnice, čepy, páky řízení a podobné typologické součásti rotačních tvarů ve všeobecném strojírenství. Optimální mechanické hodnoty oceli je možné dosáhnout zakalením součásti s následným popouštěním. U tvarově složitějších dílů se preferuje kalení do oleje, z důvodu zamezení tvorby trhlin [5,6]. V tab. 1.1, tab. 1.2 a tab. 1.3 jsou vloženy mechanické, chemické a technologické vlastnosti zvoleného materiálu oceli. Materiálový list je přiložen v příloze 2.

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti materiálu pro průměr 17–100 mm – podle [6].

Mechanické vlastnosti				
Průměr [mm]	Re min. [MPa]	Rm [MPa]	A min. [%]	Tvrdost ¹ [HB]
17-100	305	580	16	max. 207

Tab. 1.2 Chemické složení materiálu v hmotnostních % – podle [6].

Chemické vlastnosti [hm. %]							
C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr max	Mo max.	Ni max.
0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,03	0,020-0,040	0,40	0,10	0,40

Tab. 1.3 Technologické vlastnosti materiálu, tepelné zpracování v – podle [6].

Tepelné zpracování [°C]			
Normalizační žíhání	Žíhání na měkko	Kalení	Popouštění
840-880	650-700	820-860	550-660

Při spodní hranici teploty kalení je doporučeno kalit do vody, naopak při horní hranici do oleje.

¹⁾ tvrdost HB uvedena ve stavu žíhaném na měkko [5].

1.3 Tepelné zpracování

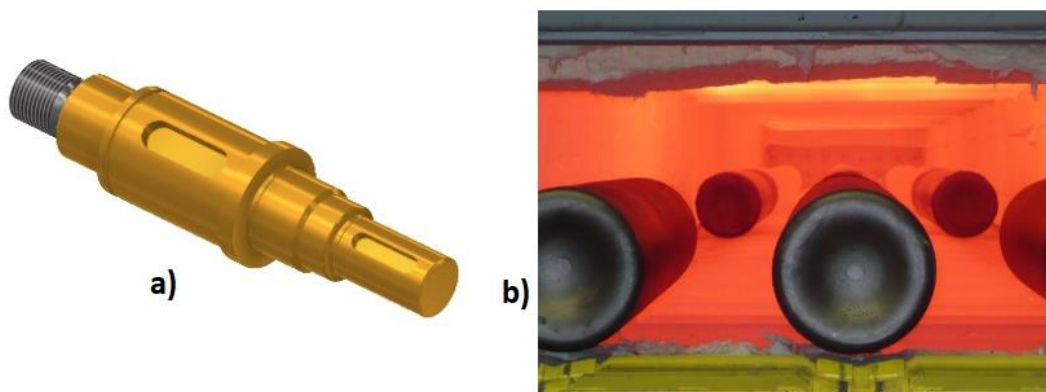
Hřídel bude po obráběcím procesu zakalena a následně popuštěna pro lepší mechanické vlastnosti, zejména tvrdosti. Tento proces vyžaduje alespoň 0,2 a více % uhlíku. Závit bude chráněn před kalením, jelikož by se mohla poškodit požadovaná funkce. Žlutě jsou vyznačeny plochy určené pro operaci kalení (obr.1.3a).

Význam kalení

Kalením se rozumí tepelné zpracování, jehož cílem je dosažení nerovnovážných stavů ocelí. Kalení dělíme podle převažující složky na martenzitické a bainitické. Princip spočívá v zahřátí oceli na požadovanou kalicí teplotu v kalicích pecích (obr. 1.3b [23]) a následné prudké ochlazení ve studených nebo teplých lázní. Mezi kalicích prostředí patří: voda, olej, vzduch, případně kombinace vody s vodní mlhou [8]. Po zakalení vykazuje součást vyšší hodnoty tvrdosti.

Popouštění

Definici popouštění lze rozumět jako ohřev následující zpravidla bezprostředně po zakalení součásti s výdrží na teplotě (zpravidla prodleva dvou hodin) a konečného ochlazování. Při doporučených teplotách viz tab. 1.3 se jedná o popuštění za vysokých teplot, neboli tzv. anizotermické zušlechťování. Toto zušlechťování je použito k dosažení optimálních kombinací meze kluzu a meze pevnosti při zachování dostatečné houževnatosti a plasticity [8,9].



Obr. 1.3 Kalení součásti: a) kalené plochy, b) topný systém kalicích a popouštěcí pece [23].

2 VÝBĚR POLOTOVARU PRO VÝROBU

Pokrok ve strojírenství přináší přesnější, výkonnější a hospodárnější způsoby výroby polotovarů. Objemy polotovarů se neustále zmenšují s vývojovým trendem při výrobě. Při konstrukci je nutné dodržet požadavek tvaru a způsob výroby. Je potřeba umět technologicky posoudit hospodárnost, pracnost a splnění konstrukčních požadavků a vybrat nejefektivnější polotovar [3].

Přídavky na obrábění musí být tak velké, aby bylo možné vyrobít součást podle výkresové dokumentace se všemi předepsanými charakteristikami. Pro průměr tyče je přídavek oboustranný. Pro naši výrobu bude zvolen normalizovaný polotovar kruhového průřezu válcovaný za tepla. Mezi výhody použití normalizovaného polotovaru patří nižší cena, naopak problém může nastat v případě volby vhodného rozměru, kdy pro požadovaný průměr součásti bude zvolen nejbližší větší průměr, který bude větší, než by bylo potřeba, čímž se zvýší pracnost obrábění.

2.1 Volba polotovaru

Dodávaný polotovar bude tyč kruhová C45R EN 10060, válcovaná za tepla EN 10083-2 od firmy Bohdan Bolzano, s.r.o. [7]

Pro největší $\varnothing 40$ mm se stanoví dle vztahu 2.1 přídavek pro výchozí průměr polotovaru [3].

$$p = \frac{5 \cdot D}{100} + 2 \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

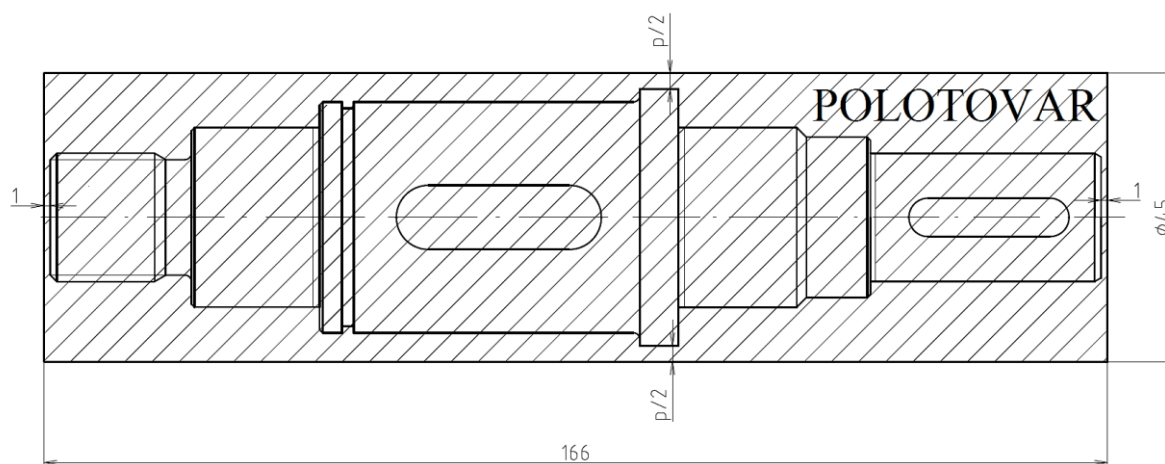
kde: p [mm] - přídavek na průměr,
 D [mm] - největší průměr součásti.

$$p = \frac{5 \cdot 40}{100} + 2 = 4 \text{ mm}$$

Přídavek na délku byl volen 2 mm, tedy výsledný rozměr je 166 mm.

Nejbližší vyšší normalizovaný průměr je 45 mm (viz obr. 2.1).

Zvolen polotovar tyče $\varnothing 45$ -166 EN 10060 válcované za tepla EN 10083-2 [7].



Obr.2.1 Zvolený polotovar $\varnothing 45$ -166 mm.

2.2 Propočet tyčového polotovaru

Firma Bohdan Bolzano, s.r.o. dodává námi požadovaný polotovar tyčí v rozmezí délek 5 - 6,5 m [7]. Pro optimální volbu správného rozměru tyče bude proveden porovnávací výpočet, kdy se porovná hospodárnost a využití materiálu mezi objednáním 5 m nebo 6,5 m tyče. Dále se porovná výpočet spotřeby normy materiálu v kapitole 2.3 a bude vyhodnocen. Následující vztahy v kapitolách 2.2 a 2.3 byly převzaty a použity pro výpočty dle literatury [1,4].

2.2.1 Varianta 1

Výpočet pro 5 m tyče.

Hmotnost tyče

$$m_{t1} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_t \text{ [kg]} \quad (2.2)$$

kde: m_{t1} [kg] - hmotnost tyče,
 ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] - hustota oceli ($\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 d [mm] - průměr tyče,
 L_t [mm] - délka tyče.

$$m_{t1} = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 5 = 62,42 \text{ kg}$$

Množství kusů polotovaru (přířezů) na jednu tyč

$$N_{ks} = \frac{L_t}{L_p + u} \text{ [ks]} \quad (2.3)$$

kde: N_{ks} [ks] - počet přířezů na jednu tyč,
 L_p [mm] - délka přířezu,
 u [mm] - ztráta dělením tyče ($u = 0,9 \text{ mm}$) [11],
 L_t [mm] - délka tyče.

$$N_{ks1} = \frac{5000}{166+0,9} = 29 \text{ ks}$$

Celkový počet potřebných tyčí

$$N_{tc} = \frac{N}{N_{ks}} \text{ [ks]} \quad (2.4)$$

kde: N_{tc} [ks] - celkový počet potřebných tyčí,
 N [ks] - počet tyčí v roční sérii výroby,
 N_{ks} [ks] - počet přířezů na jednu tyč.

$$N_{tc1} = \frac{1500}{29} = 52 \text{ ks}$$

Celková hmotnost potřebných tyčí

$$m_{tc} = m_{t1} \cdot N_{tc1} \text{ [kg]} \quad (2.5)$$

kde: m_{tc1} [kg] - celková hmotnost potřebných tyčí,
 N_{tc} [ks] - celkový počet potřebných tyčí,
 m_{t1} [kg] - hmotnost tyče.

$$m_{tc} = 62,42 \cdot 52 = 3246,1 \text{ kg}$$

Ztráty z nevyužitelného konce materiálu na tyč

$$L_k = L_t - (L_p + u) \cdot N_{ks} \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

kde: L_k [mm] - ztráty z nevyužitelného konce materiálu na tyč,
 N_{ks} [ks] - počet přířezů na jednu tyč,
 L_t [mm] - délka tyče,
 L_p [mm] - délka přířezu,
 u [mm] - ztráta dělením tyče ($u = 0,9 \text{ mm}$) [11].

$$L_{k1} = 5000 - (166 + 0,9) \cdot 29 = 159,9 \text{ mm}$$

Zbývající počet přířezů pro poslední tyč

$$N_{tp} = N - [(N_{ks} \cdot (N_{tc} - 1))] \text{ [mm]} \quad (2.7)$$

kde: N_{tp} [mm] - zbývající počet přířezů pro poslední tyč,
 N_{ks} [ks] - počet přířezů na jednu tyč,
 N_{tc} [ks] - celkový počet potřebných tyčí.

$$N_{tp1} = 1500 - [(29 \cdot (52 - 1))] = 21 \text{ ks}$$

Nevyužitá délka přebytečné části poslední tyče

$$L_{nt} = L_t - [N_{tp} \cdot (L_p + u)] \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

kde: L_{nt} [mm] - nevyužitá délka přebytečné části poslední tyče,
 N_{tp} [mm] - zbývající počet přířezů pro poslední tyč,
 u [mm] - ztráta dělením tyče ($u = 0,9 \text{ mm}$) [11].
 L_p [mm] - délka přířezu.

$$L_{nt1} = 5000 - [21 \cdot (166 + 0,9)] = 1495,1 \text{ mm}$$

Tato délka nebude započítávána do ztrátového materiálu, protože ze zbylé tyče lze vyrobit ještě 8 kusů polotovaru (1495,1:166,9). Tento konec tyče může být uložen do skladu, přičemž ho lze využít pro případnou náhradní výrobu, pokud se vyskytne zmetkovitá hřídel při výrobě. Další využití lze nalézt pro případné jiné zakázky jako přidružený typ výroby.

Hmotnost nevyužité části poslední tyče

$$m_{nt} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_{nt} \text{ [kg]} \quad (2.9)$$

kde: m_{nt1} [kg] - hmotnost nevyužité části poslední tyče,
 ρ [kg · m⁻³] - hustota oceli ($\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 d [mm] - průměr tyče,
 L_{nt} [mm] - nevyužitá délka přebytečné části poslední tyče,

$$m_{nt1} = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 1,4951 = 18,66 \text{ kg}$$

2.2.2 Varianta 2

Výpočet pro 6,5 m tyče.

Hmotnost tyče

$$m_{t2} = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 6,5 = 81,15 \text{ kg}$$

Množství kusů přířezů na jednu tyč

$$N_{ks2} = \frac{6500}{166+0,9} = 38 \text{ ks}$$

Celkový počet potřebných tyčí

$$N_{tc2} = \frac{1500}{38} = 40 \text{ ks}$$

Celková hmotnost potřebných tyčí

$$m_{tc} = 81,15 \cdot 40 = 3246,1 \text{ kg}$$

Ztráty z nevyužitelného konce materiálu na tyč

$$L_{k2} = 6500 - (166+0,9) \cdot 38 = 157,8 \text{ mm}$$

Zbývající počet přířezů pro poslední tyč

$$N_{tp2} = 1500 - [(38 \cdot (40-1))] = 18 \text{ ks}$$

Nevyužitá délka přebytečné části poslední tyče

$$L_{nt2} = 6500 - [18 \cdot (166+0,9)] = 3495,8 \text{ mm}$$

Tato délka se opět uloží do skladu viz varianta 1.

Hmotnost nevyužitě části poslední tyče

$$m_{nt2} = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 3,4958 = 43,64 \text{ kg}$$

Z prvotních výpočtů je zřejmé, že normy spotřeby materiálu budou velice podobné z důvodu malé odlišnosti ztrát z nevyužitého konce tyče (vztah 2.6). Pro přehlednost jsou vypočtené hodnoty sepsány v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Vypočtené hodnoty tyčového materiálu pro obě varianty délek tyčí.

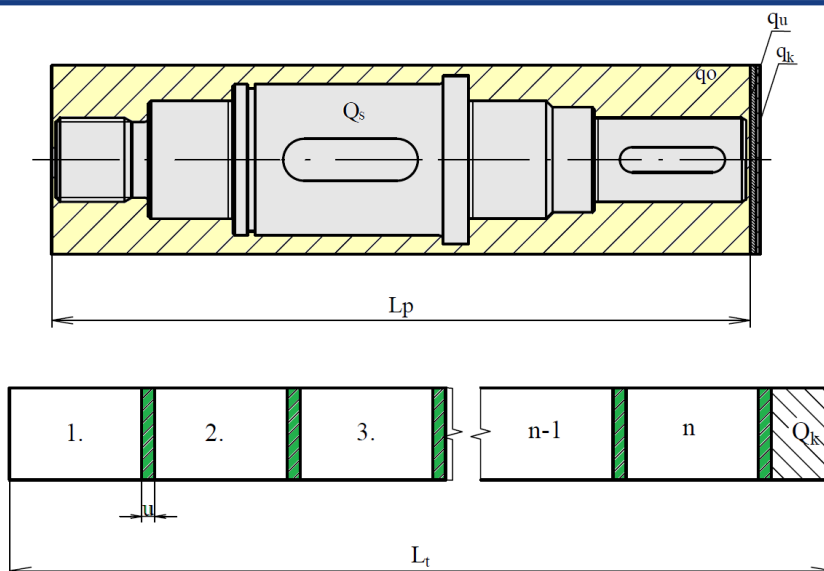
Propočet tyčového materiálu	Varianta 1 (5 m)	Varianta 2 (6,5 m)
Hmotnost tyče $m_{t1,2}$ [kg]	62,42	81,15
Množství kusů přířezu na jednu tyč $N_{ks1,2}$ [ks]	29	38
Celkový počet potřebných tyčí $N_{tc1,2}$ [ks]	52	40
Celková hmotnost potřebných tyčí m_{tc} [kg]	3246,1	
Ztráty z nevyužitelného konce materiálu na tyč $L_{k1,2}$ [mm]	159,9	157,8
Zbývající počet přířezů pro poslední tyč $N_{tp1,2}$ [ks]	21	18
Nevyužitá délka přebytečné části poslední tyče $L_{nt1,2}$ [mm]	1495,1	3495,8
Hmotnost nevyužitě části poslední tyče $m_{nt1,2}$ [kg]	18,66	43,64

2.3 Výpočet normy spotřeby materiálu

Normy spotřeby materiálu bývají podkladem ve výrobních podnicích ke správnému určení materiálně technického zásobování pro zajištění správného chodu výroby. Dále se určují výrobní náklady z dodávek polotovarů [4].

Normu spotřeby materiálu N_m určuje čistá hmotnost výrobku s přičtením ztrát materiálu při výrobě. Z toho se poté určuje stupeň využití materiálu k_m , který se obvykle pohybuje v závislosti na pracnosti a použitých technologiích v rozmezí od 0,4 do 0,8. Bliží-li se nule, pracnost se zvyšuje a varianta výroby bude neefektivní, náklady s pracností rostou. Čím vyšší stupeň využití materiálu bude, tím je požadován menší úběr materiálu a s tím spojená menší pracnost, která se pozitivně odrazí ve výsledných nákladech na výrobu [4].

Pro stanovení těchto hodnot je potřeba určit základní vztahy pro výpočet objemu polotovaru (2.10) a jeho hmotnost (2.11). Poté jsou podle vztahů (2.12), (2.13), (2.14) a (2.15) určeny ztráty materiálu, jejichž součet tvoří celkové ztráty z_m (2.16) a s následným přičtením k čisté hmotnosti součásti je určen vztah pro normu spotřeby materiálu N_m (2.17). Na tyto vztahy navazuje výše uvedený stupeň využití materiálu k_m (2.18). Veličiny pro stanovení normy spotřeby materiálu jsou uvedeny na obr 2.2 podle [1] V tab. 2.2 jsou shrnuty výsledky spotřeby normy materiálu.



Obr. 2.2 Stanovení normy spotřeby materiálu – podle [4]

Výpočet objemu přířezu

$$V = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot L_p \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.10)$$

kde: $V \text{ [m}^3\text{]}$ - objem přířezu,
 $D_p \text{ [mm]}$ - průměr přířezu,
 $L_p \text{ [m]}$ - délka přířezu.

$$V = \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 0,166 = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Výpočet hmotnosti přířezu

$$Q_p = \rho \cdot V \text{ [kg]} \quad (2.11)$$

kde: $Q_p \text{ [kg} \cdot \text{j}^{-1}\text{]}$ - hmotnost přířezu,
 $\rho \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$ - hustota oceli ($\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 $V \text{ [m}^3\text{]}$ - objem přířezu.

$$Q_p = 7850 \cdot 2,64 \cdot 10^{-4} = 2,072 \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$$

Celková hmotnost přířezů v sérii

$$Q_{pc} = 2,072 \cdot 1500 = 3108 \text{ kg}$$

Celkové ztráty při výrobě se skládají [1]:

- ztráty vzniklé dělením tyče na jednici,
- ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče na jednici,
- ztráty vzniklé obráběním na jednici.

Ztráty vzniklé dělením tyče na jednici

$$q_u = u \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot \rho \text{ [kg} \cdot \text{j}^{-1}] \quad (2.12)$$

- kde: q_u [kg·j⁻¹] - ztráty vzniklé dělením tyče,
 D_p [mm] - průměr přířezu,
 ρ [kg·m⁻³] - hustota oceli ($\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 u [mm] - ztráta dělením tyče ($u = 0,9 \text{ mm}$) [11].

$$q_u = 0,0009 \cdot \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 7850 = 0,011 \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$$

Celkové ztráty dělením tyče v sérii

$$q_{uc} = 0,011 \cdot 1500 = 16,5 \text{ kg}$$

Ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče pro variantu 1

$$Q_k = L_k \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (2.13)$$

- kde: Q_k [kg] - ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče,
 D_p [mm] - průměr přířezu,
 ρ [kg·m⁻³] - hustota oceli ($\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 L_k [mm] - ztráty z nevyužitelného konce materiálu na tyč

$$Q_{k1} = 0,1599 \cdot \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 7850 = 1,996 \text{ kg}$$

Ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče pro variantu 2

$$Q_{k2} = 0,1578 \cdot \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 7850 = 1,970 \text{ kg}$$

Ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče na jednici pro variantu 1

$$q_{k1} = \frac{Q_{k1}}{N_t} \text{ [kg} \cdot \text{j}^{-1}] \quad (2.14)$$

- kde: q_{k1} [kg·j⁻¹] - ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče na jednici,
 Q_k [kg] - ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče,
 N_t [ks] - počet tyčí v roční sérii výroby

$$q_{k1} = \frac{1,996}{1500} = 1,331 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$$

Ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče na jednici pro variantu 2

$$q_{k2} = \frac{1,970}{1500} = 1,313 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$$

Ztráty vzniklé obráběním na jednici

$$q_o = Q_p - Q_s [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}] \quad (2.15)$$

kde: $q_o [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - ztráty vzniklé obráběním na jednici,
 $Q_s [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - čistá hmotnost součásti,
 $Q_p [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - hmotnost přířezu,

Hmotnost součásti hřídele byla vypočítána v programu Autodesk Inventor Professional 2019.

$$Q_s = 0,813 \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$$

$$q_o = 2,072 - 0,813 = 1,259 \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$$

Celkové ztráty vzniklé obráběním

$$q_{oc} = 1,259 \cdot 1500 = 1888,5 \text{ kg}$$

Celkové ztráty při výrobě na jednici pro variantu 1

$$z_{m1} = q_u + q_{k1} + q_o [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}] \quad (2.16)$$

kde: $z_{m1} [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - celkové ztráty při výrobě na jednici,
 $q_u [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - ztráty vzniklé dělením tyče,
 $q_{k1} [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče na jednici,
 $q_o [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - ztráty vzniklé obráběním na jednici.

$$z_{m1} = 0,011 + 1,331 \cdot 10^{-3} + 1,259 = 1,271 \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$$

Celkové ztráty při výrobě na jednici pro variantu 2

$$z_{m2} = 0,011 + 1,313 \cdot 10^{-3} + 1,259 = 1,271 \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$$

Celkové ztráty materiálu v sérii

$$z_{mc} = 1,271 \cdot 1500 = 1906,5 \text{ kg}$$

Tyto ztráty jsou pro obě varianty stejné.

Norma spotřeby materiálu (pro obě varianty shodné)

$$N_m = Q_s + z_m [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}] \quad (2.17)$$

kde: $N_m [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - norma spotřeby materiálu, $z_{m1} = z_{m2}$,
 $Q_s [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - čistá hmotnost součásti,
 $z_m [\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$ - celkové ztráty při výrobě na jednici.

$$N_m = 0,813 + 1,271 = 2,084 [kg \cdot j^{-1}]$$

Stupeň využití materiálu (pro obě varianty shodné)

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} [-] \quad (2.18)$$

kde: $k_m [-]$ - stupeň využití materiálu,
 $Q_s [kg \cdot j^{-1}]$ - čistá hmotnost součásti,
 $N_m [kg \cdot j^{-1}]$ - norma spotřeby materiálu.

$$k_m = \frac{0,813}{2,084} = 0,390$$

Tab. 2.2 Vypočtené hodnoty při stanovení normy spotřeby materiálu.

Výpočty pro obě varianty	Varianta 1 (5m)	Varianta 2 (6,5m)
Objem přířezu V [m ³]	2,64 · 10 ⁻⁴	
Hmotnost přířezu Q _p [kg]	2,072	
Celková hmotnost přířezů v sérii Q _{pc} [kg]	3 108	
Ztráty vzniklé dělením tyče na jednici q _u [kg · j ⁻¹]	0,011	
Celkové ztráty dělením tyče v sérii q _{uc} [kg]	16,5	
Ztráty vzniklé z nevyužitého konce tyče Q _{k1,2} [kg]	1,996	1,970
Ztráty vzniklé z nevyužitého konce tyče na jednici q _k [kg · j ⁻¹]	1,331 · 10 ⁻³	1,313 · 10 ⁻³
Ztráty vzniklé obráběním na jednici q _o [kg/j]	1,259	
Celkové ztráty vzniklé obráběním v sérii q _{oc} [kg]	1 888,5	
Celkové ztráty v sérii z _{mc} [kg]	1 906,5	
Celkové ztráty materiálu na jednici z _{m1,2} [kg · j ⁻¹]	1,271	1,271
Norma spotřeby materiálu N _m [-]	2,084	2,084
Stupeň využití materiálu k _m [-]	0,390	0,390

Vyhodnocení tyčového polotovaru

Stupeň využití materiálu byl vypočten na spodní hranici 0,390. Pro možné zvýšení stupně využití materiálu se může nabízet varianta polotovaru typu výkovek. Další možností je také snížení přídavků pro obrábění. To by znamenalo nákup tyčového polotovaru taženého za studena, který vykazuje lepší povrch, tím pádem by se nemusel přidávat přídavek na průměr, pokud by největší průměr součásti nebyl funkční částí a rozměrové tolerance by odpovídali požadavkům. Tyto tyče jsou ovšem dražší než tyče válcované za tepla, proto by následovalo nové zhodnocení včetně přepočtu srovnání nákladů. Vypočtené hodnoty pro obě varianty se ve velkém množství shodují, jediný rozdílný výsledek se dá posoudit ze ztrát z nevyužitého konce tyče (vztah 2.6), kdy je výhodnější nakoupit 5m tyče, z důvodu menšího množství přebytečného materiálu. Z cenového pohledu při nákupu více tyčí se může uvádět množstevní sleva, což by se mohlo projevit u 5m tyčí. Závěrem je důležité dodat, že pro obě varianty je stupeň využití materiálu stejný, což je hlavní kritérium pro srovnání a výběr vhodné varianty.

3 PŘÍRAZENÍ STROJŮ

Pro obrábění součástí je potřeba zajistit vhodné typy strojů. Součást vstupuje do procesu výroby v podobě polotovaru (tyče) od dodavatele. Ten se na začátku procesu dělí např. na pásových pilách na požadovaný rozměr přířezu, který po kontrole pokračuje do obroben, kde se třískovým obráběním přetvoří v požadovaný tvar, který bude následně dokončen upnutím mezi hroty na brusce. Jelikož je v procesu zahrnuto tepelné zpracování, doporučuje se součást očistit od kalicího média. Ve velkosériových a hromadných typech výroby se sleduje tento proces postupu součásti, který se označuje pod termínem materiálový tok výroby.

Při volbě stroje je nutné respektovat základní pravidla při obrábění [10]:

- Žádný rozměr nelze opakovaně vyrobít ve jmenovité velikosti,
- žádný stroj nedokáže trvale po delší dobu obrábět součástky se zcela stejnými rozměry,
- výrobní náklady stoupají s rostoucími požadavky na tolerance a přesnost součástí.

Pro tuto výrobu byly zvoleny stroje odpovídající náročnosti a pracnosti při obrábění součástí, využije se zde také stroj, kterým disponuje Střední škola průmyslová, technická a automobilní Jihlava (dále SŠPTA Jihlava), kde bude vyroben prototyp hřídele.

3.1 Strojový park

Pásová pila Pilous ARG 250 H

Hydraulická – gravitační pila (obr. 3.1) nachází všeobecné uplatnění ve strojních provozech, s průmyslovým pilovým pásem 27 x 0,9 mm se vyrábí v mnoha variantách. Důvodem této volby je zejména automatické zvedání ramena po skončení řezu, které se využívá v sériových výroбах pro vyšší stupeň automatizace. Posuv do řezu je řešený vlastní vahou ramene s možností regulace pomocí škrťacího ventilu olejového tlumiče [11]. Základní parametry jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Parametry pásové pily Pilous ARG 250 H – podle [11].

Pilous ARG 250 H				
Rychlost pásu [m·min ⁻¹]	Rozměry [mm]	Hmotnost [kg]	Rozměry pilového pásu [mm]	Max. Ø při zdvihu 90°/ 45°/ 60° [mm]
40;80	1550x1850x2050	340	2710x27x0,9	250 / 200 / 125



Obr. 3.1 Pásová pila Pilous ARG 250 H [11].

Soustružnický poloautomat Hardinge Talent 8/52

Tento soustružnický poloautomat (obr. 3.2) vlastní SŠPTA Jihlava. Jedná se o univerzální soustruh od výrobce Hardinge. Soustružnický poloautomat je určen pro kusovou, malosériovou a případně sériovou výrobu menších součástí rotačního tvaru z tyčového materiálu do průměru 50 mm. Stroj je vybaven dopravníkem třísek, koníkem pro upnutí mezi hroty, nádrží s procesní kapalinou včetně čerpadla. Upínání bude provedeno do 3-čelistového sklíčidla z důvodu omezeného sortimentu. Funkce stroje jsou řízeny pomocí NC programu vygenerovaného z CAM technologie Edgecam. Stroj je vybaven 12-ti polohovou revolverovou hlavou pro rychlou výměnu nástrojů. Dále je možnost využití přídatné osy určené pro frézování drážek na hřídeli, čímž odpadá volba frézovacího stroje. Technické parametry jsou uvedeny v tab. 3.2.

Tab. 3.2 Parametry soustružnického poloautomatu Hardinge Talent 8/52 – podle [12].

Hardinge Talent 8/52						
Max. Ø obrábění [mm]	Délka obrábění [mm]	Rozsah otáček vřetena [min^{-1}]	Hmotnost [kg]	Výkon hlavního motoru [kW]	Počet poloh v revolverové hlavě	Rozměry stroje d x š x v [mm]
280	381	40-5000	2794	11	12	1998x1650x1751



Obr. 3.2 Hardinge Talent 8/52.

Univerzální hrotová bruska UB 25–630 CNC

Univerzální hrotová bruska UB 25-630 CNC od firmy TOS Hostivař s.r.o. (obr. 3.3) je určena pro broušení obrobku do kulata, upnutých mezi hroty, letmo ve sklíčidle s možností použití vnitřního broušení nebo na magnetickou permanentní desku. Obsluha jej může ovládat ručně nebo v plně automatickém cyklu (broušení většího množství počtu průměrů, broušení zápichem nebo podélně, atd.) s řídicím systémem Siemens Sinumerik. Stroje jsou určeny pro přesné a výkonné broušení nejen jednotlivých kusů, ale i pro velké série obrobků. Kompaktní konstrukce je určená pro malé až střední rozměry broušených předmětů [13]. Pro výrobu hřídele bude použit zapichovací způsob broušení z důvodu větší šířky brousícího kotouče než délky broušených ploch. Uvedené vlastnosti a parametry jsou důvodem volby tohoto stroje. Základní parametry jsou uvedeny v tab. 3.3.

Tab. 3.3 Parametry hrotové brusky UB 25-630 CNC – podle [13].

UB 25-630 CNC					
Vzdálenost mezi hroty [mm]	Max. Ø broušeného válce [mm]	Obvodová rychlost brousícího kotouče [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Pohon vřetene brousícího vřeteníku [kW]	Max. hmotnost obrobku pro upnutí mezi hroty / letmo [kg]	Ø brousícího kotouče [mm]
630	250	25-45	4	80 / 25	400



Obr. 3.3 Hrotová bruska UB 25-630 CNC [13].

Průmyslová pračka Simplex 60

Z důvodu tepelného zpracování a použitých procesních kapalin v procesu výroby je do strojového parku dále zařazena průmyslová pračka Simplex 60 (obr. 3.4), která díky vysokotlakému čerpadlu umyje (za horka) a odmastí vyráběnou hřídel před zabalením a expedicí zákazníkovi. Základní parametry jsou uvedeny v tab. 3.4.

Tab. 3.4 Parametry průmyslové pračky Simplex 60 – podle [14].

Průmyslová pračka Simplex 60					
Celkové rozměry [mm]	Mycí kapacita Ø x výška [mm]	Nosnost koše [kg]	Objem nádrže [l]	Vysokotlaké čerpadlo [kW] / Průtok [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]	Ohřev [kW]
920x780x1000	580x380	100	60	3 / 120	4



Obr. 3.4 Průmyslová pračka Simplex 60 od firmy QTS-nýty spol. s.r.o. Bohumín [14].

4 SESTAVENÍ TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

Při zavádění nových či racionalizaci stávajících výrobků do výroby se pro přehlednost a jasnost postupu výroby předepisují technologické postupy. Vytváření těchto postupů je jeden z druhů technologických dokumentací, mezi které dále patří seznamy technologického nářadí, návodky, materiálové listy a různé normovací dokumenty.

Souhrnný technologický postup musí obsahovat údaje o [10]:

- výrobních zařízení, způsobu upnutí, nástrojích a kontrolních měřidel,
- popisu práce při jednotlivých sledů operací,
- řezných podmínkách a výrobních časech -> návodky (pro jednotlivá pracoviště),
- počtu vyráběných kusů za rok,
- údaje o materiálu a polotovaru,
- místu, kam bude po obrobení součást předána (sklad, montáž, expedice, apod.).

4.1 Použité nástroje

Při volbě vhodných nástrojů a řezných podmínek je stěžejní správná klasifikace obráběného materiálu. Pro zjednodušení jsou obráběné materiály rozděleny dle ISO 513 do šesti základních skupin a dvaceti čtyř podskupin (obr. 5.1), kde se sdružují materiály, které vyvolávají kvalitativně stejný typ namáhání břitu a proto také podobný typ opotřebení VBD.

P	uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 legované oceli tříd 13, 14, 15, 16 nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...) nástrojové legované oceli (193... až 198...) uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...) feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., litě 4229...)	N	neželezné kovy, slitiny Al a Cu
		S	speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
		H	zúšlechtnuté oceli s pevností nad 1500 MPa kalené oceli HRC 48 ÷ 60 tvrdé kokilové litiny HSh 55 ÷ 85
M	austenitické a feriticko-austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli nemagnetické a oleruvzdorné	K	šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...) tvárná litina (4223...) temperovaná litina (4225...)

Obr. 4.1 Klasifikace obráběných materiálů [15].

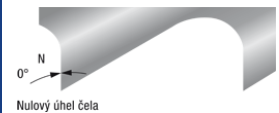
Pro obrábění konstrukční nelegované oceli třídy 12 (C45R) platí skupina materiálů P s podskupinou P2 (obr. 4.2).

P	P1	1.1, 1.2	Oceli a ocelolitiny s velmi dobrou (zlepšenou) obrobitelností, automatové a nízkouhlíkové oceli
	P2	1.3	Nelegované a nízkolegované ocelolitiny a oceli se středním obsahem uhlíku ($0,25 < C < 0,55$) s pevností do 900 MPa a tvrdostí v rozsahu 160 – 255 HB
	P3	1.4	Hůře obrobitelné nelegované a nízkolegované ocelolitiny a oceli se středním obsahem uhlíku s pevností do 1000 MPa a tvrdostí do 300 HB
	P4	1.5	Středně až vysoce legované ocelolitiny a oceli (většinou s obsahem uhlíku $0,55 < C$), pevnost do 1270 MPa a tvrdost do 375 HB resp. 40 HRC

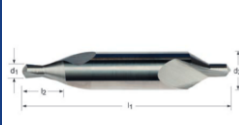

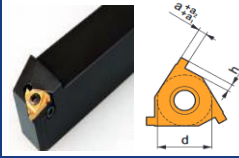


Obr. 4.2 Skupina materiálů pro ocel C45R [15].

Veškeré nástroje, řezné podmínky a definice byly určeny podle katalogů firem Dormer Pramet [16], [17], Sandvik Coromant [18] a Tyrolit [19]. Veškeré nástroje potřebné pro výrobu jsou uvedeny v tab. 4.1, tab. 4.2 a tab. 4.3.

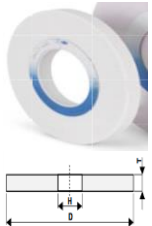
Tab. 4.1 Nástroj pro pásovou pilu Pilous ARG 250 H – podle [11].

Pilový pás pro pásovou pilu Pilous ARG 250 H				
Znázornění	Označení / Pozice	Výrobce	Použití	Materiál
	Maxtech 420 / P1 2710x27x0,9 [mm]	Pilous	Běžné konstrukční oceli do průřezu 100 mm	Bi – Metal M42 HSS M42 1.3247

Tab. 4.2 Nástroje pro soustružnický poloautomat Hardinge Talent 8/52 – podle [16], [17], [18].

Nástroje pro soustružnický poloautomat Hardinge Talent 8/52					
Znázornění	Označení nástroje	Řezné parametry	Výrobce	Mat.	Pozice
	Označení destičky		Operace		
	Středicí navrtávák 60°	$a_p = 3,5 \text{ mm}$ $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	Dormer	HSS	T1
	A2002.5X6.3	$f = 0,06 \text{ mm}$	vrtání		
	PDJNL 2020 K15	$a_p = 0,8-4,5 \text{ mm}$ $f = 0,15-0,48 \text{ mm}$	Pramet	KO	T2
	DNMG 150408E-M	$r_e = 0,8 \text{ mm}$	soustružení	T9315	
	SER 2020 K16	$a = h = 1,85 \text{ mm}$ $a_1 = 0,05 \text{ mm}$	Pramet	KO	T3
	TN 16ER185ZZ	$a_2 = 0,10 \text{ mm}$	zapichování	T8330	
	SER 2020 K16	úhel sklonu $\lambda = 1,5^\circ$ $v_c = 135 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	Pramet	KO	T4
	TN 16ER150M	počet záběrů: 6	závitování	T8030	
	CoroMill Plura HD	$\varnothing d = 10 \text{ mm}$ $v_c = 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	Sandvik Coromant	HM 1730	T5
	2S342-1000-050-PA	$f = 0,20 \text{ mm}$	frézování		
	CoroMill Plura HD	$\varnothing d = 6 \text{ mm}$ $v_c = 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	Sandvik Coromant	HM 1730	T6
	2S342-0600-050-PA	$f = 0,14 \text{ mm}$	frézování		

Tab. 4.3 Nástroj pro hrotovou brusku UB 25-630 CNC – podle [19].

Brousící kotouč plochý pro hrotovou brusku UB 25-630 CNC				
Znázornění	Označení	Výrobce	Použití	Materiál
	Rozměry D x T x H 400x50x127 [mm]	Tyrolit	Vhodné pro nelegované konstrukční oceli do tvrdosti 65 HRC	umělý korund bílý keramické pojivo střední tvrdost a zrnitost v_c až $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
	Specifikace/ Pozice B1 99BA 46 K 9 V 40			

4.2 Upnutí nástrojů

Soustružnické nože budou upnuty v upínacím systému VDI 30-B1.20.40 (obr. 4.3), dle ISO 10889. Jedná se o radiální krátký držák pravý tvaru B1, který je vhodný zejména pro vnější a čelní obrábění. Držáky jsou umístěny v revolverové hlavě. Tento typ držáků se využívá také na pracovišti ŠSPTA Jihlava.



Obr. 4.3 Radiální krátký držák pravý, tvar B1 [20].

Pro upnutí fréz je využito upínacího mechanismu od výrobce Algra. Tento radiální poháněný nástrojový držák s vnějším chlazením slouží k upnutí frézy pomocí kleštiny do kleštinového pouzdra. Upínací mechanismus je nainstalován přímo v revolverové hlavě poloautomatu Hardinge Talent 8/42.

Základní údaje:

- Upínač: Algra RRPPS 30 421 US3T dle DIN 6499-25 (obr. 4.4)



Obr. 4.4 Radiální poháněný nástrojový držák Algra.

- Potřebné kleštiny: ER25 DIN 6499 typ ER25.C.06 a ER25.C.10 (obr. 4.5)



Obr. 4.5 Kleština pro upnutí fréz do kleštinového pouzdra v radiálním poháněném držáku Algra [20].

4.3 Použitá kontrolní měřidla

Během výroby součástí jsou pro zamezení počtů nesprávně vyrobených kusů zavedeny vstupní kontroly polotovarů, mezioperační kontroly zejména po složitějších operacích a výstupní kontroly součástí. Podle náročnosti výroby jsou předepsány kontrolní měřidla. V tab. 4.2 jsou použita kontrolní měřidla.

Tab. 4.4 Použitá kontrolní měřidla – podle [15].

Kontrolní měřidla	Základní údaje	Pozice
	Digitální posuvné měřidlo Mitutoyo Digimatic 200 Číslicový krok: 0,01 mm Rozsah: 0-200 mm	M1
	Digitální třmenový mikrometr Mitutoyo Přesnost: $\pm 0,001$ mm Rozsah: 0-50 mm	M2
	Úchylkoměr číselníkový digitální KINEX Přesnost: $\pm 0,001$ mm Rozsah: 12,7 mm	M3
	Závitový kroužek dobrý M20x1,5- 6g INSIZE	M4
	Drsnoměr Surftest SJ-210 Mitutoyo Rozsah měření: 360 μ m Snímací dotek: diamantový hrot	M5

4.4 Použití procesní kapaliny

Řezné prostředí významně ovlivňuje proces obrábění. Hlavní funkcí procesních kapalin je odvod tepla z místa řezu. Vhodným použitím se docílí větších trvanlivostí a životností nástrojů, čímž se zvyšuje produktivita procesu, dále se sníží řezný odpor [22]. Významný vliv má především při broušení a řezání závitu, kde má velký podíl na výsledné kvalitě a přesnosti výroby, což je v našem případě žádoucí. Současné technologie nabízí přívod procesních kapalin přímo z těla obráběcího nástroje (obr. 4.6), čímž se zajistí zavedení média přímo do místa řezu.



Obr. 4.6 Přesný přívod řezné kapaliny do místa řezu [21].

V praxi se u destiček s povlakovanými slinutými karbidy procesní kapaliny příliš nevyužívají, nicméně v kombinaci s nástroji z rychlořezné oceli, či jiného materiálu se doporučují. Pro operace soustružení, frézování a broušení se doporučuje použití chladících emulzí nebo syntetických kapalin s převažujícím chladícím účinkem, pro řezání závitu řezné oleje [22].

4.5 Technologický postup a návodky

Kompletní technologický postup a návodky jsou přiloženy v přílohách 3 a 4. Pro názornost sledu operací byl vytvořen rámcový technologický postup (tab. 4.5). V návodkách jsou spočteny a zapsány údaje o řezných podmínkách a strojních časech.

Tab. 5.5 Rámcový technologický postup.

VUT v Brně, FSI Ústav strojírenské technologie		TECHNOLOGICKÝ POSTUP – RÁMCOVÝ		Součást: Hřídel
Číslo op.	Stroj	Popis práce	Nástroje	
0/0	Pilous ARG 250 H	Řezání polotovaru	P1	
1/1	-	OTK	M1	
2/2	Hardinge Talent 8/52	Soustružení, navrtávání	T1, T2	
3/3	Hardinge Talent 8/52	Soustružení levé části kontury	T1, T2, T3, T4	
4/4	-	OTK	M1, M4	
5/5	Hardinge Talent 8/52	Soustružení pravé části kontury	T2	
6/6	-	OTK	M1	
7/7	Hardinge Talent 8/52	Frézování drážek	T5, T6	
8/8	-	OTK	M1, M2	
9/9	Simplex 60	Očištění obrobku	-	
10/10	-	Kooperace – kalení, popouštění	-	
11/11	Simplex 60	Očištění obrobku		
12/12	UB 25-630 CNC	Broušení ploch	B1	
13/13	Simplex 60	Očištění obrobku	-	
14/14		OTK 100 %	M1 M2,M3, M4, M5	
15/15	-	Paletizace, expedice	-	

4.6 Stanovení řezných podmínek a jednotkových strojních časů

Optimální volba řezných podmínek má vliv na výsledný proces výroby zejména z pohledu efektivity, strojní práce nebo nákladů na výrobu, které rostou se vzrůstajícím výrobním časem. Řezné podmínky značně ovlivňují výslednou kvalitu povrchu, která musí být dle požadavků dodržena pro splnění funkčnosti konkrétního dílce.

4.6.1 Stanovení řezné rychlosti

Pro volbu startovních řezných podmínek lze postupovat podle katalogů firem věnujících se problematice obrábění, kde jsou dále zohledněny korekční součinitelé, které optimalizují výslednou hodnotu. V příloze 7 lze nalézt hodnoty, z kterých bylo vycházeno.

Vstupní hodnoty pro určení řezné rychlosti jsou [16]:

- Klasifikace materiálu, trvanlivosti a tvaru VBD,
- typ operace, tj. těžké hrubování, střední hrubování, dokončování,
- určení posuvů na otáčku f , šířky záběru ostří a_p ,
- tvrdost obráběného materiálu
- záběrové podmínky (stav povrchu, přerušovaný / plynulý řez),
- technický stav obráběcího stroje.

Příklad určení řezných podmínek pro použitou VBD DNMG 150408E-M

Nalezení startovní řezné rychlosti: $v_{15} = 245 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

M = střední hrubování, materiál VBD T9315, $f = 0,2\text{-}0,4 \text{ mm}$, hodnoty $a_p \cong 2,5 \text{ mm}$

Korekce: tvrdost obráběného materiálu C45R do 200 HB $\rightarrow k_{vHB} = 0,95$

stav obráběcího stroje $\rightarrow k_{vx} = 0,95$

tvar VBD $\rightarrow k_{VBD} = 0,95$

Výsledná volba řezné rychlosti: $v_c = v_{15} \cdot k_{vHB} \cdot k_{vx} \cdot k_{VBD} = 245 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 210 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Pro operaci soustružení bude zvolena hodnota řezné rychlosti $v_c = 210 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

4.6.2 Stanovení jednotkových strojních časů pro soustružení

Je vycházeno z maximálního obráběného průměru D a řezné rychlosti v_c dle vztahu 5.1 [10].

$$n = \frac{10^3 \cdot v_c}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (5.1)$$

kde: n [min^{-1}] - frekvence otáček vřetena,

v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost na maximálním průměru D ,

D [mm] - maximální průměr soustruženého povrchu.

Příklad výpočtu otáček pro operaci 2/2 v technologickém postupu pro podélné soustružení

$$n = \frac{10^3 \cdot 220}{\pi \cdot 45} = 1556 \text{ min}^{-1}$$

Podélné soustružení

K určení strojního času pro podélné soustružení platí následující vztah 5.2 [10]

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (5.2)$$

- kde: t_{AS} [min] - strojní čas soustružení dané plochy.
 L [mm] - délka automatického posuvu včetně náběhu a přeběhu,
 i [-] - počet záběrů,
 f [mm] - posuv nástroje na otáčku,
 n [min⁻¹] - frekvence otáček.

Příklad výpočtu strojního času pro operaci 2/2 pro podélné soustružení

$$t_{AS} = \frac{67 \cdot 1}{1556 \cdot 0,35} = 0,123 \text{ min}$$

Čelní soustružení při konstantní řezné rychlosti

K určení strojního času pro čelní soustružení při $v_c = \text{konst.}$ platí následující vztah 5.3 [10]

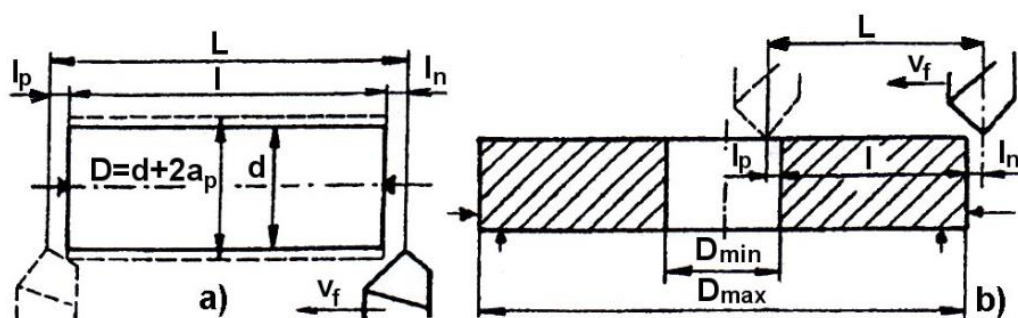
$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot 10^3 \cdot f \cdot v_c} \text{ [min]} \quad (5.3)$$

- kde: t_{AS} [min] - strojní čas soustružení dané plochy,
 D [mm] - maximální průměr soustruženého povrchu,
 v_c [m·min⁻¹] - řezná rychlost na maximálním průměru D .
 f [mm] - posuv na otáčku.

Příklad výpočtu strojního času pro operaci 2/2 pro čelní soustružení při $n = \text{konst.}$

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot 45^2}{4 \cdot 10^3 \cdot 0,35 \cdot 220} = 0,021 \text{ min}$$

Ke stanovení jednotkového strojního času je vycházeno z parametrů uvedených na obr. 5.7.



Obr. 5.7 Jednotkový strojní čas: a) podélné soustružení, b) čelní soustružení [22].

5 TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko ekonomické zhodnocení je nezbytná část během zavádění nových projektů do chodu výroby. Cílem je posouzení realizovaného projektu do optimální varianty jak z hlediska technických požadavků pro výrobu (potřebné stroje, nástroje, výrobní prostory apod.), časové náročnosti a pracnosti procesů, tak z pohledu finanční náročnosti na zajištění projektu (náklady na provoz strojů, dodávky hutního materiálu, výplaty zaměstnancům apod.). Tyto informace jsou dále sledovány a podrobovány analýze po zahájení výroby.

5.1 Stanovení výrobního času

Pro stanovení celkového času potřebného na výrobu 1 ks součásti na daném stroji je zapotřebí přičíst ke strojnímu času (tab. 5.1) také čas vedlejší t_{AV} , který zahrnuje veškerá opatření pro provedení výroby (upínání obrobku, výměny nástrojů, seřízení stroje apod.). Pro tyto stanovení může být vycházeno z normativů nebo experimentálně (měření spotřeby času při výrobě prototypové součásti). Vedlejší časy závisí zejména na složitosti součásti a její manipulaci během procesu. Pro zadanou výrobu bude uvažován vedlejší čas potřebný pro operace soustružení jako 40 % z celkového strojního času, z důvodu většího počtu upínání do sklíčidla a mezioperační kontroly. Pro operaci broušení pak bude hodnota vedlejšího času stanovena jako 25 % z celkového strojního času, jelikož bruska obrobí součást na jedno upnutí mezi hroty. Výsledné časy budou zaokrouhleny pro případ neočekávaných prostojů. Do výpočtu není zahrnut čas pásové pily, neboť se předpokládá výpočet pracoviště obrobny, nikoliv vstupního skladu. Tepelné zpracování bude zajištěno formou kooperace.

Tab. 5.1 Jednotkové strojní časy potřebné pro obrobení hřídele.

Jednotkové strojní časy t_{AS}			
Číslo op.	Stroj	Popis práce	t_{AS} [min]
2/2	Hardinge Talent 8/52	Soustružení, navrtávání	0,168
3/3	Hardinge Talent 8/52	Soustružení levé části kontury	0,735
5/5	Hardinge Talent 8/52	Soustružení pravé části kontury	0,422
7/7	Hardinge Talent 8/52	Frézování drážek	0,282
Celkový strojní čas t_{AS} pro soustruh Hardinge Talent 8/52			1,607
12/12	UB 25-630 CNC	Broušení ploch	0,848
Celkový strojní čas t_{AS} pro brusku UB 25-630 CNC			0,848
Celkový strojní čas t_{AS} pro výrobu hřídele			2,455

Celkové časy pro jednotlivé stroje obrobny (součet strojního a vedlejšího času)

Soustruh: $t_{A1} = t_{AS} + t_{AV} = 1,607 + (0,4 \cdot 1,607) = 2,250 \text{ min} \doteq 2,50 \text{ min}$

Hrotová bruska: $t_{A2} = t_{AS} + t_{AV} = 0,848 + (0,25 \cdot 0,848) = 1,060 \text{ min} \doteq 1,25 \text{ min}$

Celkový kusový čas: $t_A = t_{A1} + t_{A2} = 2,50 + 1,25 = 3,75 \text{ min}$

Předpokládaný celkový čas pro sérii 1 500 ks: $t_c = 3,75 \cdot 1\,500 = 5\,625 \text{ min} = 93,75 \text{ hod}$

5.2 Výpočet spotřeby nástrojů

Nástroje jsou během procesu výroby značně opotřebovávány, což může mít za důsledek zhoršení rozměrových přesností obrobků. Pro různé technologie obrábění je proto stanovena optimální trvanlivost nástrojů lišící se typem operace ve výrobě. Pro hrubovací a méně náročné operace bude stanovena trvanlivost nástroje $T_{opt} = 25$ min, pro operace vyžadující náročnější požadavky na přesnost, např. řezání závitů je stanovena trvanlivost $T_{opt} = 15$ min. V tab. 5.2 je uveden celkový jednotkový strojní čas pro jednotlivé nástroje a potřebný počet kusů, které jsou potřeba pro zajištění chodu výroby.

Tab. 5.2 Potřebný počet jednotlivých nástrojů za dané trvanlivosti.

Nástroj	T_{opt} [min]	t_{AS} [min]	t_{ASc} pro 1 500 ks [min]	Celkem ks
Středicí navrtávák 60° A202.5X6.3	25	0,048	72	2
VBD DNMG 150408E-M	25	1,231	1847	37
VBD TN 16ER185ZZ	25	0,009	14	1
VBD TN 16ER150M	15	0,037	56	2
CoroMill Plura HD Ø 10 mm	25	0,167	251	17
CoroMill Plura HD Ø 6 mm	25	0,115	173	12

Ukázkový příklad výpočtu spotřeby VBD DNMG 150408E-M

Vstupní údaje:

$$T_{opt} = 25 \text{ min, počet břitů } n_b = 2$$

$$t_{ASc} = t_{AS} \cdot N = 1,231 \cdot 1500 = 1847 \text{ min}$$

$$\text{Celkem ks} = \frac{t_{ASc}}{T_{opt} \cdot n_b} = \frac{1847}{25 \cdot 2} = 37 \text{ ks}$$

5.3 Výkonnost obrábění pro soustruh Hardinge Talent 8/52

Vztahy pro výpočet výkonnosti obrábění (viz 5.4) patří mezi hlavní ukazatele procesu obrábění, kde je posouzeno odebrané množství materiálu za jednotku času provedené v konkrétním úběru. Úběr materiálu je vrstva odebraná z obrobku během jednoho průchodu rezné části nástroje vyjádřená na jednu otáčku obrobku, kdy je spočtena plocha [21].

Výkonnost obrábění [21]

$$Q = A_T \cdot v_f [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.4)$$

kde: Q [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$] - výkonnost obrábění,
 A_T [mm^2] - plocha průřezu jednoho úběru,
 v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] - rychlost posuvu.

Pro soustružení válcové plochy o průměru D je hodnota A_T [21]

$$A_T = \pi \cdot a_p \cdot (D - a_p) [\text{mm}^2] \quad (5.5)$$

kde: A_T [mm^2] - plocha průřezu jednoho úběru,
 a_p [mm] - šířka záběru ostří,
 D [mm] - obráběný průměr součásti.

Výkonnost obrábění pro soustružení válcové plochy [21]

$$Q = \pi \cdot 10^{-3} \cdot a_p \cdot f \cdot n \cdot (D - a_p) \text{ [cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}\text{]} \quad (5.6)$$

kde: $Q \text{ [cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$ - výkonnost obrábění,
 $a_p \text{ [mm]}$ - šířka záběru ostří,
 $f \text{ [mm]}$ - posuv na otáčku,
 $D \text{ [mm]}$ - obráběný průměr součásti,
 $n \text{ [min}^{-1}\text{]}$ - frekvence otáček.

Výpočet výkonnosti obrábění válcové plochy (viz operační návodka 3/3, úkon č.4)

Vstupní údaje: $a_p = 4 \text{ mm}$ $f = 0,35 \text{ mm}$ $n = 1843 \text{ min}^{-1}$ $D = 38 \text{ mm}$

$$Q = \pi \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 0,35 \cdot 1843 \cdot (38 - 4) = 275,6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Hodnota byla spočtena pro operaci hrubování, veškeré další hodnoty výkonnosti obrábění pro operace soustružení jsou analogicky spočteny a uvedeny v tab. 5.3. Ve výpočtech byly vynechány hodnoty pro soustružení kontury, z důvodu proměnlivých otáček a faktu, že největší hodnoty byly zaznamenány v oblastech hrubování, kde je důležité stanovit tyto výkonnosti, neboť hloubky záběru ostří zde dosahovaly hodnot až 4 mm. Pro dokončovací operace jsou tyto hodnoty méně vypovídající.

Tab. 5.3 Hodnoty výkonnosti obrábění pro operace soustružení.

Číslo operace	Pořadí úkonu v operaci	Výkonnost obrábění $Q \text{ [cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$
2/2	úkon č.1	75,3
2/2	úkon č.2	181,8
3/3	úkon č.1	75,3
3/3	úkon č.2	181,8
3/3	úkon č.3	75,0
3/3	úkon č.4	275,6
3/3	úkon č.5	267,0
3/3	úkon č.7	30,1
3/3	úkon č.8	179,6
5/5	úkon č.1 (i=1)	206,2
5/5	úkon č.1 (i=2)	156,3
5/5	úkon č.2	109,8
5/5	úkon č.3	174,7

5.4 Kalkulace nákladů

Tyto kalkulace obsahují základní prvotní uvažované ceny, kdy jsou přibližně zkalkulovány ceny za spotřebu elektrické energie pro provoz soustruhu a brusky (kapitola 5.4.1), ceny za dodávku polotovarů (kapitola 5.4.2) a následně spočtení přibližné ceny na výrobu 1 ks hřídele (kapitola 5.4.3). Třískové hospodářství bude vyřešeno prodejem do firmy zabývající se výkupem třísek a železného šrotu, kde se cena pohybuje okolo $3,5 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$. Z tab. 2.2 jsou celkové ztráty vzniklé obráběním $q_{oc} = 1888,5 \text{ kg}$. Z toho je patrné, že po vynásobení těchto hodnot bude zisk činit přibližně 6610 Kč za výkup třísek.

5.4.1 Spotřeba elektrické energie

Pro pohon hlavního motoru u soustruhu Hardinge Talent 8/52 (tab. 3.2) je $P = 11 \text{ kW}$. Cena dle [24] je volena na horní hodnotě $5,2 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$. Celková spotřebovaná energie na výrobu 1 ks hřídele je vypočtena dle vztahu 5.7.

Celková spotřebovaná energie na výrobu 1 ks

$$E = P \cdot t_{cs} [\text{kWh}] \quad (5.7)$$

kde: E [kWh] - celková spotřebovaná energie,
 t_{cs} [hod] - čas provozu soustruhu, $t_{cs} = 2,5 \text{ min} = 0,042 \text{ hod}$
 P [kW] - pohon hlavního motoru.

$$E = 11 \cdot 0,042 = 0,462 \text{ kWh}$$

Celková spotřebovaná energie pro sérii 1500 ks $\rightarrow 0,462 \cdot 1500 = 693 \text{ kWh}$

Jednotlivé ceny jsou vypočteny v tab. 5.4. Analogicky dle vztahu 5.7 byla spočtena cena elektrické energie pro brusku.

Tab. 5.4 Ceny elektrické energie.

Ceny elektrické energie pro obrobení hřídele		Spotřeba energie [kWh]
Cena za el. energii pro výrobu 1 ks na soustruhu	$0,462 \cdot 5,2 = 2,40 \text{ Kč}$	0,462
Cena za el. energii pro výrobu 1500 ks na soustruhu	$693 \cdot 5,2 = 3604 \text{ Kč}$	693
Cena za el. energii pro výrobu 1 ks na brusce	$0,083 \cdot 5,2 = 0,43 \text{ Kč}$	0,083
Cena za el. energii pro výrobu 1500 ks na brusce	$124,5 \cdot 5,2 = 647,4 \text{ Kč}$	124,5
Celkové sumy ceny a spotřeby energie	4251,4 Kč	817,5

5.4.2 Cena dodávaných tyčových polotovarů

Na trhu se jednotlivé ceny polotovarů liší v závislosti na pořizovaném množství. Ceny jsou stanoveny za hmotnost, které se pohybují v rozmezí $25\text{--}30 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pro horší variantu bude počítáno s cenou $30 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pro sérii 1500 ks hřídelí bylo spočteno (tab. 2.1) 52 ks 5 m tyčového polotovaru o celkové hmotnosti $m_{tc} = 3246,1 \text{ kg}$. Toto odpovídá po dělení materiálu pásovou pilou $2,072 \text{ kg}$ na jeden přířez. Cena přířezu na 1 ks a celková cena je vypočtena dle vztahu 5.8.

Cena za 1 ks přířezu

$$C = Q_p \cdot 30 [\text{Kč}] \quad (5.8)$$

kde: C [Kč] - cena za 1 ks přířezu,
 Q_p [$\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}$] - hmotnost přířezu.

$$C = 2,072 \cdot 30 = 62,2 \text{ Kč}$$

Celková cena dodávaných tyčových polotovarů $\rightarrow m_{tc} = 3246,1 \text{ kg} \rightarrow 3246,1 \cdot 30 = 97\,383 \text{ Kč}$

5.4.3 Cena výroby hřídele

Cena výroby 1 ks hřídele (vztah 5.9.) je závislá na hodinové sazbě stroje, kde jsou spočteny veškeré náklady spojené s výrobou, např. práce obsluhy, náklady na energii, na seřízení stroje, na opravu nebo na použité nástroje apod. Tyto sazby jsou individuální dle náročnosti obrábění a stupně automatizace, kdy pro CNC automatizované výrobní stroje jsou větší sazby než na konvenční stroje. Vzhledem k daným podmínkám na obrobení hřídele byla odhadnuta hrubá cena za hodinu práce na soustruhu 700 Kč a na CNC brusce 800 Kč. Jedná se o hrubý odhad, konkrétní hodinové sazby by byly určeny po výrobě prototypu před zahájením sériové výroby.

Cena výroby 1 ks hřídele

$$C_{ks} = t_{cs} \cdot 700 + t_{cb} \cdot 800 \text{ [Kč]} \quad (5.9)$$

- kde: C_{ks} [Kč] - cena výroby 1 ks hřídele,
 t_{cs} [hod] - čas provozu soustruhu, $t_{cs} = 2,5 \text{ min} = 0,042 \text{ hod}$,
 t_{cb} [hod] - čas provozu brusky, $t_{cb} = 1,25 \text{ min} = 0,021 \text{ hod}$.

$$C_{ks} = 0,042 \cdot 700 + 0,021 \cdot 800 \doteq 46 \text{ Kč}$$

Cena výroby roční plánované série 1500 ks hřídelí

$$C_{kc} = C_{ks} \cdot 1500 \text{ [Kč]} \quad (5.10)$$

- kde: C_{kc} [Kč] - cena výroby roční plánované série 1500 ks hřídelí,
 C_{ks} [Kč] - cena výroby 1 ks hřídele.

$$C_{kc} = 46 \cdot 1500 = 69\,000 \text{ Kč}$$

5.5 Kapacitní propočty

Kapacitní propočty se zabývají problematikou zaměřenou na výrobní plán programu vztažený na navrhovaný výrobní profil. Výrobní plán představuje počty výrobků, které se vyrobí za rok. Výrobní profil představuje počty potřebných strojů a nástrojů k zajištění výrobního plánu [2]. Pro určení kapacitních propočtů je vycházeno z potřebných časů pro zajištění výroby (tab. 5.1). Vztahy v kapitolách 5.5.1 a 5.5.2 jsou převzaty z literatury [2].

5.5.1 Potřebný počet strojních pracovišť

- Vstupní údaje • Počet pracovních dní v roce 2019: 251 dní, 8 hodin směny $\rightarrow 2008 \text{ hod} \cdot \text{rok}^{-1}$,
 • efektivní časový fond stroje E_s : 12 % z $2008 \text{ hod} \cdot \text{rok}^{-1} \rightarrow 1767 \text{ hod} \cdot \text{rok}^{-1}$ [2],
 • $k_{pns} = 1,2 \rightarrow$ koeficient překračování norem (vliv zapracování pracovníka) [2].

Potřebný počet soustruhů Hardinge Talent 8/52 je uveden ve vztahu 5.7

$$P_{th} = \frac{t_{k1} \cdot N}{60 \cdot E_s \cdot s_s \cdot k_{pns}} \quad (5.7)$$

- kde: P_{th} [-] - potřebný počet strojů pro provedení dané operace,
 t_{k1} [min] - čas potřebný pro provedení dané operace na stroji,
 N [ks] - výrobní dávka za rok,

- E_s [hod·rok⁻¹] - efektivní časový fond stroje,
 k_{pns} [-] - koeficient překračování norem,
 s_s [-] - směnnost.

$$P_{th} = \frac{2,50 \cdot 1500}{60 \cdot 1767 \cdot 1 \cdot 1,2} = 0,03 \rightarrow 1 \text{ soustruh}$$

Pro výrobní dávku 1 500 ks ročně stačí pořízení 1 soustruhu a 1 hrotové brusky, jelikož kusový čas na hrotové brusce je menší než u soustruhu. Každému stroji je pak přiřazen 1 pracovník.

5.5.2 Výpočet provozní podlahové plochy

Podlahová plocha podniku se skládá ze součtu výrobní plochy F_v a pomocné plochy F_p . Výrobní plocha představuje půdorysnou plochu stroje, manipulační prostor pro palety a bezpečné plochy mezi stroji pro pracovníka. V pomocné ploše jsou poměrně rozděleny plochy pro hospodaření s nářadím, plochy pro sklady, kontrolní pracoviště dopravní cesty. Zjednodušeně je spočten prostor kolem stroje 0,6 m po třech stranách a 1,2 m pro obsluhu [2].

Ukázkový příklad výpočtu výrobní plochy pro soustruh Hardinge Talent 8/52 (5.8)

$$F_{s1} = \sum_{j=1}^m f_{s1} \cdot n_1 \quad [\text{m}^2] \quad (5.8)$$

- kde: F_{s1} [m²] - výrobní plocha strojních pracovišť,
 f_{s1} [m²] - půdorysná plocha strojního pracoviště pro daný stroj,
 n_1 [-] - počet strojů.

$$F_{s1} = [(0,6 + 1,998 + 0,6) \cdot (0,6 + 1,650 + 1,2)] \cdot 1 = 11 \text{ m}^2$$

Analogicky byly spočteny plochy pro brusku (15,5 m²) a průmyslovou pračku (5,5 m²).

Celková výrobní plocha strojů F_s je dána součtem ploch pro jednotlivé stroje:

$$F_s = 11 + 15,5 + 5,5 = 32 \text{ m}^2$$

Výpočet pomocné podlahové plochy

Podle statistických údajů pomocná podlahová plocha F_p dosahuje (40–60 %) · F_s [2].

$$F_p = (0,4–0,6) \cdot F_s \quad [\text{m}^2] \quad (5.9)$$

- kde: F_p [m²] - pomocná podlahová plocha,
 F_s [m²] - výrobní plocha strojních pracovišť.

$$F_p = 0,5 \cdot F_v = 0,5 \cdot 32 = 16 \text{ m}^2$$

Výpočet celkové provozní plochy obrobny

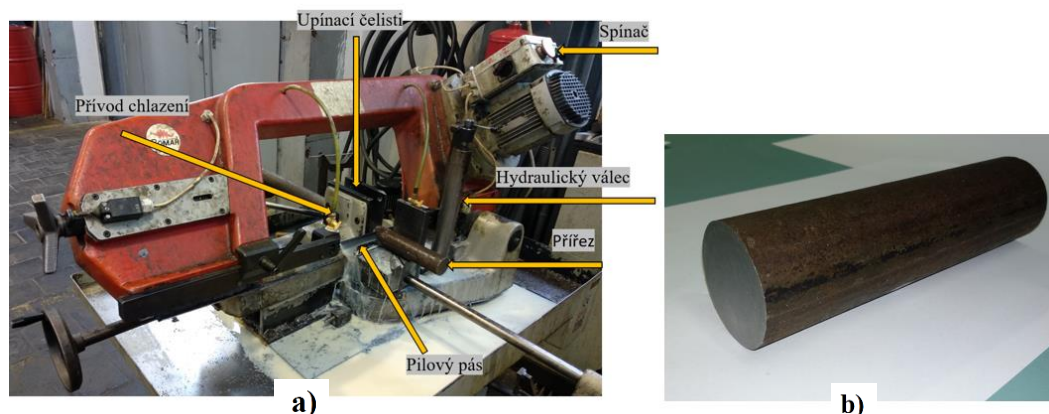
$$F_v = F_s + F_p \quad [\text{m}^2] \quad (5.10)$$

- kde: F_v [m²] - celková provozní plocha obrobny,
 F_p [m²] - pomocná podlahová plocha,
 F_s [m²] - výrobní plocha strojních pracovišť.

$$F_v = F_s + F_p = 32 + 16 = 48 \text{ m}^2$$

6 VÝROBA VZORKU SOUČÁSTI

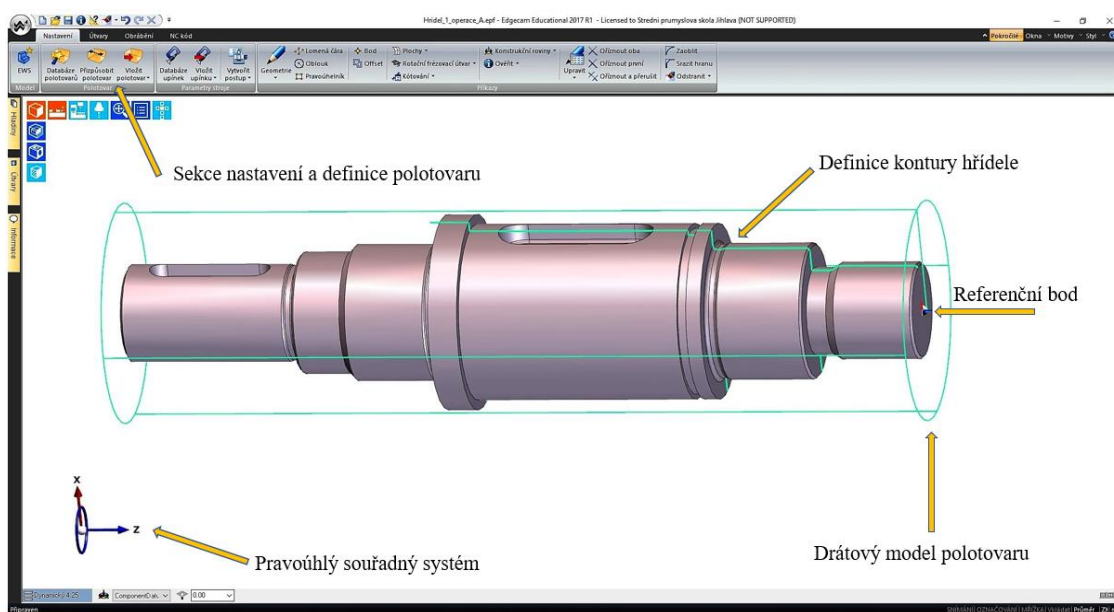
Pro ověření technologického návrhu pro danou součást byl vyroben prototyp hřídele v dílenských podmínkách pracoviště SŠPTA Jihlava. Dodaný vzorek tyčového polotovaru byl seříznut za přivedené procesní kapaliny na délku 166 mm pomocí pásové pily (obr. 6.1a), přířez z tyče je na obr. 6.1b. Posuvová rychlost řezu je řízena pomocí hydraulického válce.



Obr. 6.1 Pásová pila: a) proces dělení tyčového polotovaru, b) přířez $\varnothing 45$ o délce 166 mm.

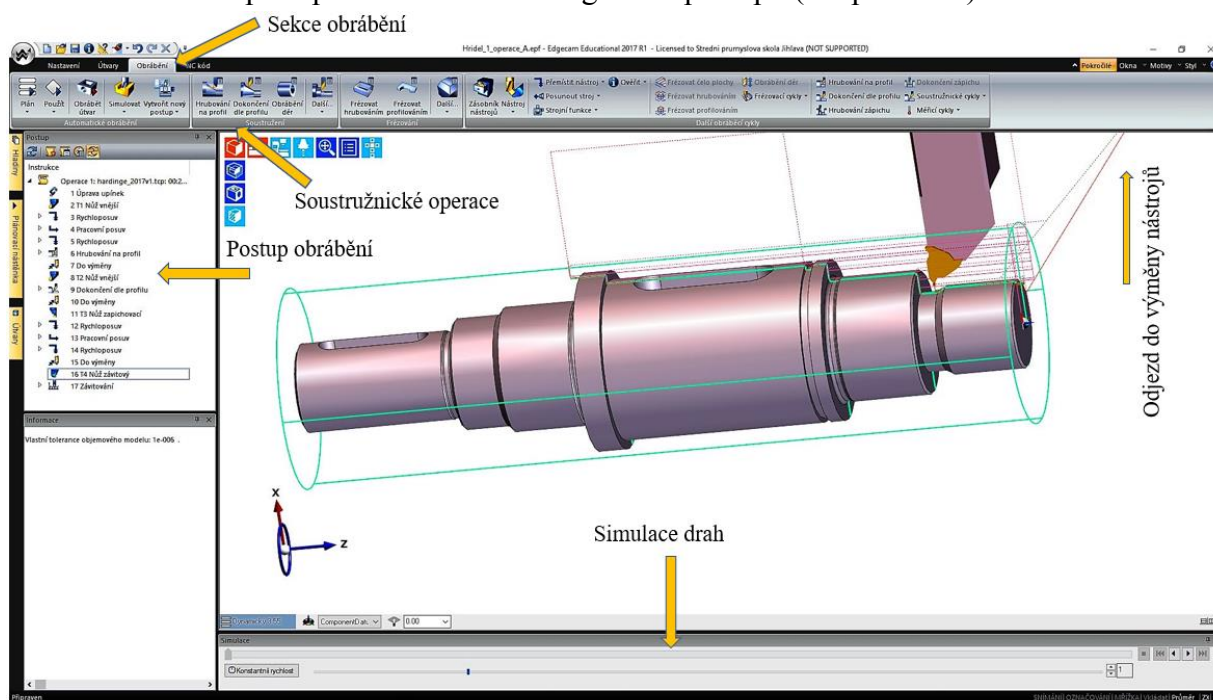
6.1 Vytvoření simulace pro obrábění v softwaru Edgecam

Po operaci dělení materiálu je navrhnout v softwaru Edgecam program pro realizaci výroby na soustružnickém poloautomatu Hardinge Talent 8/52. Edgecam verze 2017 R1 patří mezi přední CAM softwary využívané ve strojírenství. Významnou výhodou je kompatibilita a asociativita mezi CAD a CAM programy, což napomáhá k automatizovaným procesům výroby. Edgecam disponuje silnými hrubovacími a dokončovacími soustružnickými cykly s výstupem NC kódu v rozepsaném cyklu, nebo naopak pevném cyklu stroje. Obráběcí dráhy jsou počítány s ohledem na aktuálně použité nástroje a zbývající materiál k obrobení, čímž se zamezí nežádoucímu nárůstu vedlejších časů [25]. Uživatelské prostředí Edgecamu je na obr. 6.2, kde je nainportovaný CAD model z programu Autodesk Inventor Professional 2019, v sekci nastavení je vytvořen polotovar a nadefinována kontura hřídele.



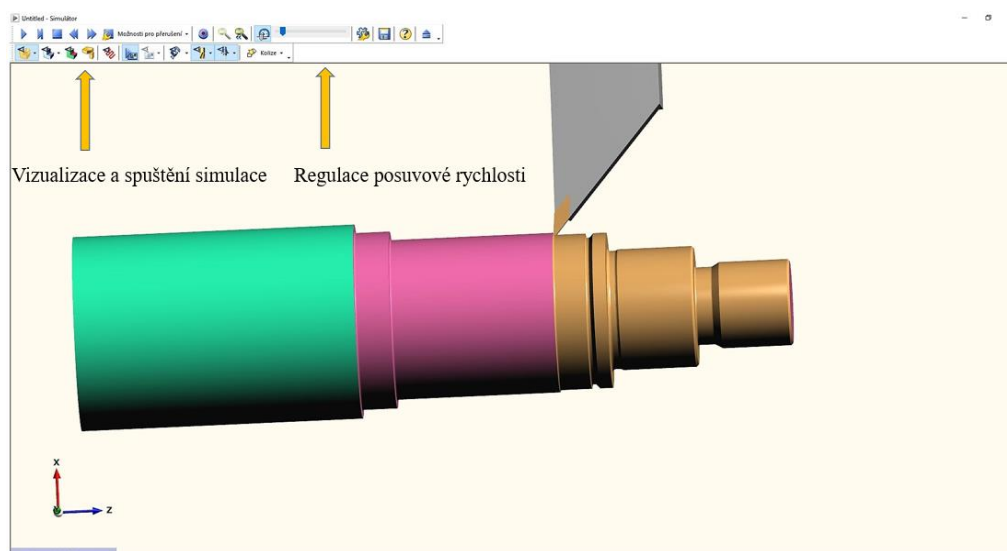
Obr. 6.2 Uživatelské prostředí Edgecam 2017 R1.

Po definici polotovaru jsou v sekci obrábění nadefinovány strategie drah podle operační návodky (viz příloha 4) a druhy použitých nástrojů včetně řezných podmínek. Je potřeba definovat nájezdy a odjezdy ve formě rychloposuvů a pracovních posuvů. Na obr. 6.3 je příklad nadefinování drah pro operaci 3/3 v technologickém postupu (viz příloha 3).



Obr. 6.3 Definování drah nástroje v Edgcam 2017 R1.

Výsledné strategie byly postupně otestovány v simulaci programu. Na obr. 6.4 je vizualizace simulované součásti během konturování obrobku. Díky uživatelskému prostředí lze regulovat posuvovou rychlost, čímž lze jednodušeji detekovat přesné pohyby nástroje.



Obr. 6.4 Simulace hřídele v programu Edgcam 2017 R1.

Výstupem této softwarové simulace jsou ISO kódy, který obsahuje vygenerovaný NC program, kdy základním prvkem NC programu je slovo složené z adres, významové a rozměrové části, udávající informace z uspořádaného sledu znaků definovaného významu. Tato posloupnost slov vytváří blok (větu), přičemž uspořádání bloků podle technologického postupu pak tvoří vlastní program [22,26].

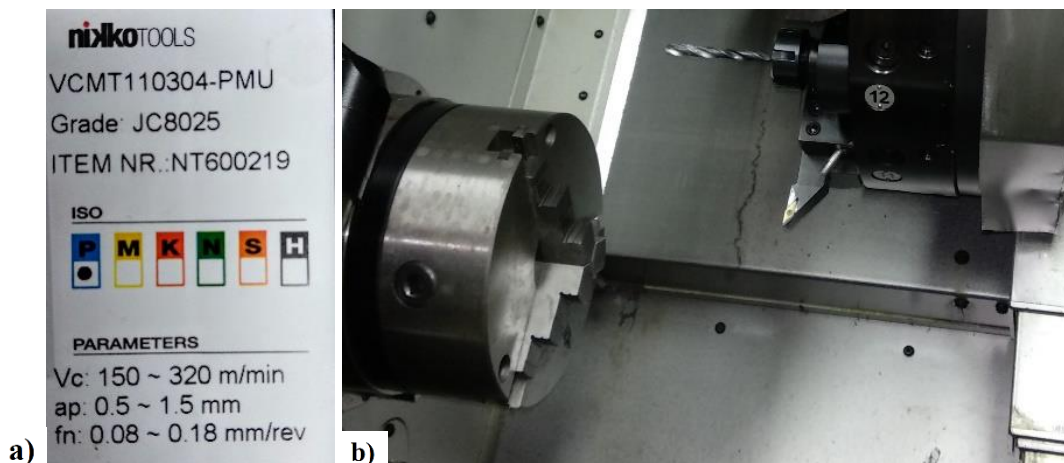
V tab. 6.1 je vysvětlena struktura složení bloku [26]. Příklad ISO kódů vygenerovaných v NC program pro operaci 3/3 s přiloženou tabulkou nejčastěji používaných funkcí je součástí příloh 10 a 11.

Tab. 6.1 Příklad struktury složení bloku NC programu – podle [26].

Příklad				Název	Význam
N 10 G 00 X 100 Z-50				Blok (věta)	N = číslo bloku G = Přípravná funkce X Z = pohyby v osách
N 10	G 00	X 100	Z-50	Slovo (příkaz)	
N	G	X	Z	Adresa	
10	00			Významová část	
		100	-50	Rozměrová část	

6.2 Výroba prototypové hřídele

Z důvodu absence vhodné hrotové brusky na pracovišti SŠPTA Jihlava byl proveden experimentální pokus, kdy se do technologické operace pro soustružení zařadil dokončovací proces v podobě dostupné hladicí VBD tvaru V (obr. 6.5). Cílem experimentu bylo nastavit maximální možné parametry pro danou VBD tak, aby byla textura povrchu v požadovaných místech co nejkvalitnější, tj. hodnota R_a co nejmenší a nejbližší $0,8 \mu\text{m}$. Na kvalitě výsledného povrchu je závislý zejména posuv na otáčku a poloměr zaoblení špičky VBD. Hodnota poloměru zaoblení špičky VBD je $r_\epsilon = 0,4 \text{ mm}$.



Obr. 6.5 Dokončovací nůž s VBD: a) řezné podmínky a označení, b) umístění v revolverové hlavě.

Pro zjištění teoretické hodnoty posuvu na otáčku můžeme vycházet ze vztahů 6.1 a 6.2, kdy z požadovaného parametru $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ při soustružení lze vyjádřit hledanou hodnotu posuvu na otáčku f . Vztahy byly převzaty z literatury [10,21].

$$R_z = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} \text{ [mm]} \quad (6.1)$$

- kde: R_z [mm] - největší výška profilu,
 f [mm] - posuv na otáčku,
 r_ϵ [mm] - poloměr zaoblení špičky VBD.

$$R_a = 0,26 \cdot R_z \text{ } [\mu\text{m}] \quad (6.2)$$

kde: R_a [μm] - průměrná aritmetická úchylka profilu,

R_z [mm] - největší výška profilu.

Pro hodnotu $R_a = 0,8 \text{ } \mu\text{m} = 0,0008 \text{ mm}$ je dle experimentálně dostupného vztahu 6.2 R_z :

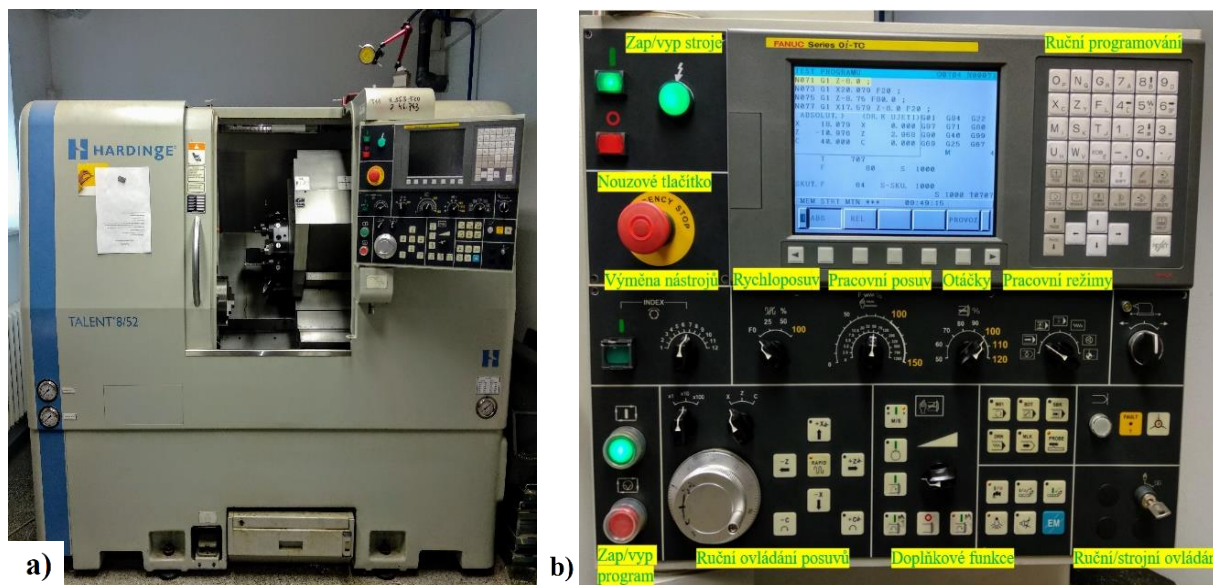
$$R_z = \frac{R_a}{0,26} = \frac{0,0008}{0,26} = 0,00307 \text{ mm}$$

Ze vztahu 6.1 se vyjádří neznámá veličina posuvu na otáčku f , která činí:

$$f = \sqrt{R_z \cdot 8 \cdot r_\epsilon} = \sqrt{0,00307 \cdot 8 \cdot 0,4} = 0,099 \text{ mm}$$

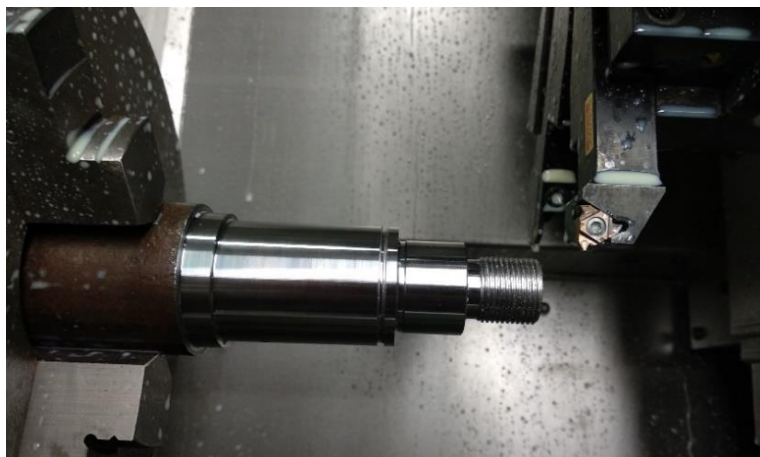
Hodnota $f = 0,099 \text{ mm}$ je v rozmezí doporučovanými výrobcem, pro dokončení plochy o parametru $R_a = 0,8 \text{ } \mu\text{m}$ bude nastavena hodnota $f = 0,09 \text{ mm}$ pro větší pravděpodobnost dosažení požadované textury povrchu, která se dále změří drsnoměrem. Výše uvedené vztahy platí za předpokladu příznivých podmínek výroby, jako např. tuhá soustava stroj – nástroj – obrobek, materiál s dobrou obrobitelností, nepoškozené VBD, použití procesních kapalin, apod.

Po vyřešení potřebných údajů o procesu obrábění a otestování hřídele v simulačním prostředí Edgcam byl dodaný přířez upnut do sklíčidla soustruhu Hardinge Talent 8/52 s řídícím programem FANUC Series Oi-TC. Použitý soustruh je na obr. 6.5a, ovládací panel na obr. 6.5b. Před samotným zahájením procesu výroby byly zkontrolovány korekce nástrojů a do systému stroje se nahrály ISO kódy vygenerované v podobě NC programu.



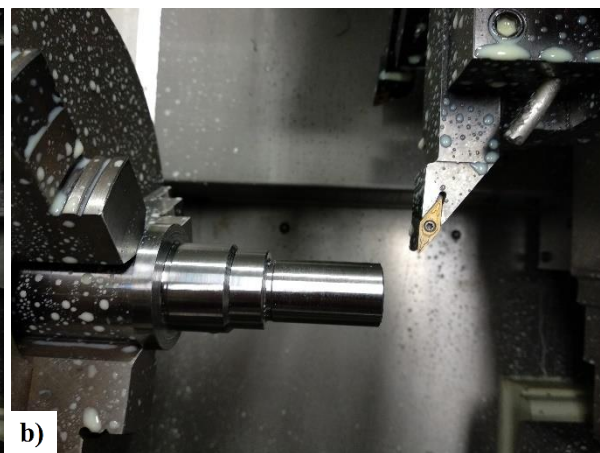
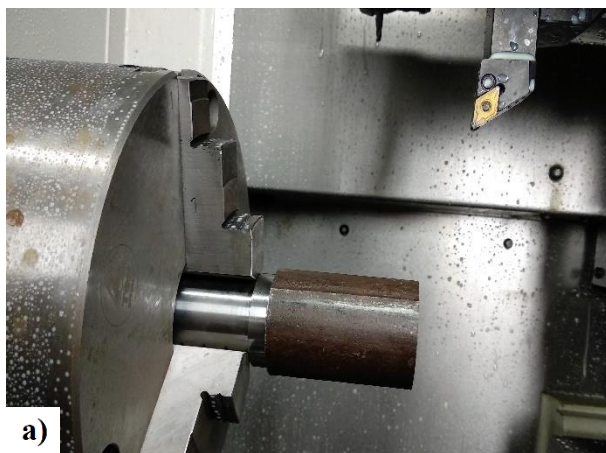
Obr. 6.5 Hardinge Talent 8/52: a) stroj pro výrobu, b) ovládací panel soustruhu.

Po zarovnání čela byl spuštěn program pro soustružení levé strany hřídele (op. 3/3, obr. 6.6).



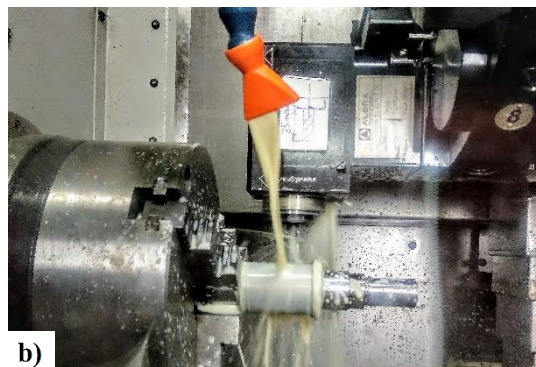
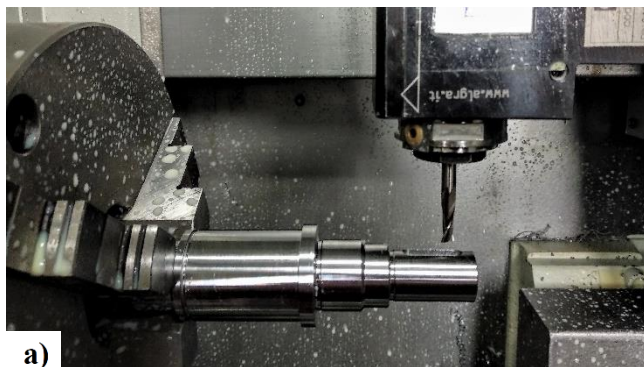
Obr. 6.6 Soustružení levé strany hřídele.

V dalším postupu se zkontrolovaly dosažené výsledky obrábění a hřídel byla upnuta do sklíčidla za $\varnothing 36$ js6 (obr. 6.7a). Po spuštění programu pro soustružení pravé části hřídele byla obrobena hrubovacím nástrojem s VBD tvaru D a konturování se provedlo dokončovacím nástrojem s VBD tvaru V (obr. 6.7b).



Obr. 6.7: Soustružení pravé strany hřídele: a) před obrobením, b) po obrobení.

Na obr. 6.8a je poslední operace na soustruhu, kdy za pomoci radiálního poháněného nástrojového držáku byly vyfrézovány drážky. Osa C soustruhu byla zablokována a spustil se vřeteník držáku s frézou. Na obr. 6.8b je frézování druhé drážky s použitím procesní kapaliny.



Obr. 6.8: Frézování drážek: a) drážka válcového konce hřídele, b) frézování drážky v procesu.

6.3 Měření parametru Ra na vybrané ploše

Na obr. 6.6 je žlutě vyznačená plocha, na které se experiment bude provádět za výše uvedených podmínek. Jedná se o válcový konec hřídele s předepsanou hodnotou Ra 0,8 μm .



Obr. 6.6 Plocha určená pro měření parametru Ra za výše uvedených podmínek.

Pro měření textury povrchu byl použit drsnoměr Surftest SJ-211 Mitutoyo. Experiment probíhal na pracovišti SŠPTA Jihlava. Princip drsnoměru spočívá v „kopírování“ povrchu diamantovým hrotem umístěným na rameni přístroje. Pro správné měření povrchu je nejprve potřeba zkalibrovat drsnoměr pomocí kalibrační destičky dodávané výrobcem. Na obr. 6.7 je provedena kalibrace pomocí kalibrační destičky o parametru Ra = 2,95 μm . Aby byl přístroj správně kalibrován, musí naměřená hodnota odpovídat hodnotě na kalibrační destičce.

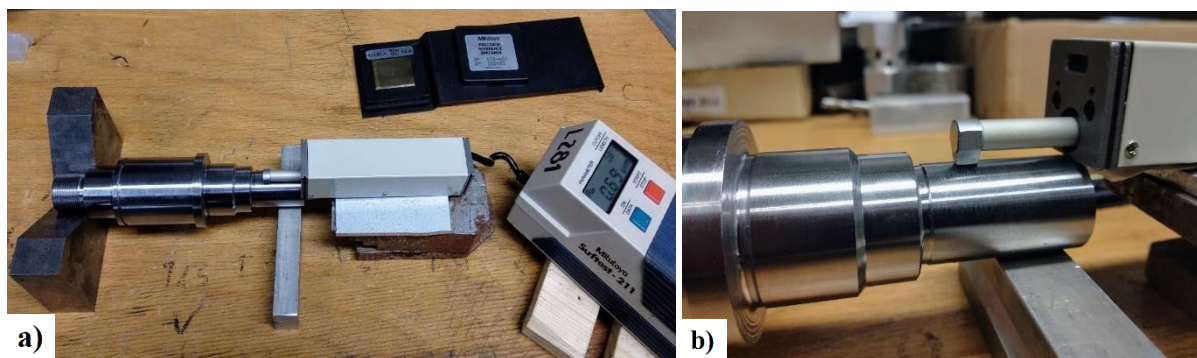


Kalibrační destička Ra = 2,95 μm

Naměřená hodnota

Obr. 6.7 Kalibrace drsnoměru Surftest SJ-211 Mitutoyo.

Po kalibraci byla hřídel ustavena do držáku tak, aby rameno s diamantovým hrotem bylo v jedné rovině s měřeným povrchem hřídele (obr. 6.8a). Část povrchu válcového konce hřídele byla změřena zpětným posuvem ramena. Měření bylo provedeno 10x tak, že se hřídel pootočila po jednotlivých měřeních. Detail měření textury povrchu je na obr. 6.8b.

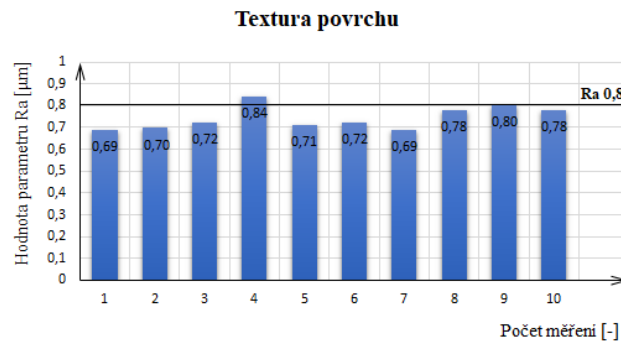


a)

b)

Obr. 6.8 Měření parametru Ra: a) měření konec válcového konce hřídele, b) detail měření.

Po změření povrchu drsnoměrem byly zapsány a vyhodnoceny výsledné hodnoty parametru Ra. V grafu (obr. 6.9) jsou naměřené hodnoty s vyznačením maximální povolené hodnoty Ra.



Obr. 6.9 Grafické zobrazení naměřených hodnot Ra.

Zhodnocení výroby prototypu

Výroba v areálu SŠPTA Jihlava proběhla v pořádku. Hřídel byla vyrobena v souladu s navrženým postupem výroby, pouze byly upraveny řezné podmínky v podobě snížení řezné rychlosti a posuvu s ohledem na aktuální stav stroje. Na obr. 6.10a je přířez před zhotovením, na obr. 6.10b je hotová hřídel po operaci soustružení.

Během výroby byly zaznamenány následující fakta:

- při hrubovacích operacích bylo nutné dostatečně utáhnout sklíčidlo,
- při zarovnání čela by bylo vhodné použít VBD s větším úhlem nastavení vedlejšího ostří než má VBD tvaru D, poněvadž při svislém pracovním posuvu se tříška „hromadila“ u materiálu a obrobená plocha vykazovala horší výsledky,
- VBD tvaru D vykazovala během hrubování drobnou třísku za použití procesní kapaliny,
- dokončovací VBD tvaru V při konturování zanechávala plynulou třísku, na výslednou kvalitu povrchu to zřejmě vliv nemělo, nicméně by bylo vhodné zvolit jiný typ utvařeče,
- během frézování drážek bylo z důvodu jednoho radiálního poháněného nástrojového držáku nutno vymontovat a vyměnit frézy s kleštinou, a s tím souviselo nastavení korekce nástroje, neboť se vyskytly nesrovnalosti v řádu desetin mm ve vyložení nástroje.
- zvolený posuv na otáčku $f = 0,09 \text{ mm}$ při poloměru zaoblení špičky VBD $r_e = 0,4 \text{ mm}$ se jeví u VBD tvaru V pro požadovaný parametr $Ra = 0,8 \text{ μm}$ jako příznivý, během měření spadalo 9 hodnot z 10 do požadované hodnoty Ra, nicméně je nutné brát v úvahu nahodilé měření jedné plochy namísto komplexní kontroly hřídele i z hlediska geometrických tolerancí,
- jemným soustružením lze bez větších problémů zhotovit povrch o parametru $Ra = 0,8 \text{ μm}$ za cenu zvýšení strojního času, který během konturování za daných řezných podmínek narůstal.



Obr. 6.10 Hřídel: a) před obrobením, b) po obrobení.

7 ZHODNOCENÍ

Za materiál součásti byla předepsána ocel třídy 12, konkrétně C45R, která je vhodná ke kalení a následnému zušlechťování. Aby tato ocel byla dobře obrobitelná, je zde zvýšen obsah prvků síry do 0,04 % (v názvu označení R). Polotovarem byla tyč kruhová C45R EN 10060, válcovaná za tepla EN 10083-2. Koeficient využití materiálu $k_m = 0,390$ vykazuje nízkou hodnotu způsobenou náročností hřídele.

Během výroby prototypové součásti byl využit program Edgecam verze 2017 R1, výroba probíhala v útrobách pracoviště SŠPTA Jihlava. Použitý soustružnický poloautomat Hardinge Talent 8/52 byl pro zadanou hřídel plně dostačující. Velkou výhodou byla možnost použití radiálního poháněného nástrojového držáku, kdy se drážky na pero nemuseli frézovat na samostatné frézce. Kvůli omezeným výrobním možnostem pracoviště byla namísto brusky použita dokončovací VBD VCMT 110304-PMU. Pro parametr $R_a 0,8 \mu\text{m}$ se při posuvu na otáčku $f = 0,09 \text{ mm}$ jevila kladně. Změřené hodnoty (obr. 6.9) vykazují 9 kladných hodnot z 10. Tento fakt lze brát orientačně, neboť hřídel nebyla změřena komplexně celá. Výroba proběhla bez menších problémů, nicméně odhalila špatně předepsané zkosení $0,5 \times 45^\circ$ pro náběh závitu. Toto zkosení bylo malé, závit se řezal do větší hloubky, proto se zvolí zkosení $1,5 \times 45^\circ$.

Proces kalení byl zařazen z důvodu zvýšení tvrdosti materiálu, nicméně na úkor jeho houževnatosti. Pro eliminaci nízké houževnatosti byla do technologického postupu zavedena operace popouštění za vyšších teplot následující bezprostředně po zakalení součásti.

Uvedené časy strojní a vedlejší, které představují kusový čas výroby součásti jsou spočteny na moment, kdy je pracoviště kompletně připraveno pro zahájení sériové výroby, tzn. stroje a nástroje jsou seřizeny, nedostatky a problémy jsou eliminovány během výroby prototypu hřídele, toto patří mezi důvody odzkoušení prototypové součásti před zahájením výroby. Přesný kusový čas je pak na tomto základě upraven.

Při základních kalkulacích nákladů (tab. 7.1) spojené s výrobou bylo vycházeno z všeobecných informačních zdrojů. Veškeré náklady byly počítány pro případ horší varianty, např. při kalkulaci dodávaného polotovaru se počítalo z vyšší cenou $30 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$, kdežto při objednání většího množství materiálu se mohou ceny vlivem množstevní slevy korigovat. Hodinové sazby strojů jsou zvoleny orientačně z důvodu rozdílných sazeb pro konkrétní stroje v konkrétních podmínkách firem, cílem bylo prezentovat možný způsob výpočtu ceny za výrobu.

Tab. 7.1 Celkové náklady na projekt

Celkové náklady na projekt výroby hřídele [Kč]	
Ceny za energii	4 251,4
Cena dodávaných tyčových polotovarů	97 383
Cena za výrobu 1 ks součásti na strojích	46
Cena výrobní série 1 500 ks	69 000

7.1 Další varianty procesu výroby

- Hřídel byla upnuta do tříčelistového sklíčidla z důvodu absence opěrného hrotu na pracovišti, varianta upnutí hřídele mezi hroty s čelním unašečem by redukovala počet upnutí, což by vedlo ke zkrácení výrobních časů,
- místo použité dokončovací VBD VCMT 110304-PMU lze jako variantu použít VBD s větším poloměrem zaoblení špičky $r_e = \min. 0,8 \text{ mm}$, kdy je možné využít větší posuvy na otáčku, další variantou je použití technologie VBD Wiper, kdy stejná jakost povrchu je dosažena dvojnásobně větším posuvem na otáčku oproti klasickým dokončovacím VBD [26].

ZÁVĚR

Technologický projekt výroby hřídele byl zaměřen na problematiku procesu výroby v sériových podmínkách pro zhotovení 1 500 ks. Tomu náležely aspekty v posouzení technologičnosti, výpočty během návrhu polotovaru až po sestavení technologického procesu. Při každém zavedení nového projektu je nezbytné technicko-ekonomické zhodnocení. Během výroby prototypu součásti, která předchází samotnému zahájení série bylo využito CAD/CAM technologie v obrábění. Soustružnické operace byly zhotoveny v programu Edgcam 2017 R1. Zadaná součást vykazovala vysoké požadavky na přesnost z hlediska rozměrových a geometrických tolerancí, tomu odpovídá vhodný výběr strojů a nástrojů, kde byly použity CNC obráběcí stroje. Nezbytným požadavkem pro výběr vhodných nástrojů je správná klasifikace obráběného materiálu podle ISO 513. Podle obráběného materiálu byly stanoveny řezné podmínky. Po teoretickém rozboru procesu výroby byla prototypová součást vyrobena na soustružnickém poloautomatu Hardinge Talent 8/42 v podmínkách pracoviště SŠPTA Jihlava. Tepelné zpracování bude vyřešeno formou kooperace.

Během teoretického rozboru a následné výroby hřídele byly zaznamenány následující výsledky:

- Do materiálu C45R se přidává zvýšený obsah síry do 0,04 % pro lepší obrobitelnost,
- pro sérii 1500 ks je potřeba 52 ks dodaných 5m tyčí s celkovou hmotností 3246,1 kg,
- z hrubé hmotnosti přířezu 2,072 kg je hmotnost hřídele po obrobení 0,813 kg, koeficient využití materiálu byl spočten na hodnotu $k_m = 0,390$
- materiál T9315 u VBD je vhodný zejména pro hrubovací operace, pro řezání závitu je první volba materiálu VBD T8030,
- na výrobu drážek byl použit radiální poháněný nástrojový držák, čímž byly uspořeny náklady na frézku, která nemusela být použita,
- dokončovací VBD VCMT 110304-PMU s poloměrem zaoblení špičky $r_\epsilon = 0,4$ mm lze při $f = 0,09$ mm a zavedení procesní kapaliny použít na parametr $Ra = 0,8$ μm ,
- kusový čas výroby byl vypočten na $t_A = 3,75$ min, z toho strojní čas $t_{AS} = 2,45$ min,
- celkový čas pro výrobu 1500 ks hřídelí je 93,75 hod práce,
- největší výkonnost obrábění byla zaznamenána $Q = 275,6$ $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při řezných podmínkách $a_p = 4$ mm, $f = 0,35$ mm, $n = 1843$ min^{-1} na průměru $D = 38$ mm,
- cena za energii byla vypočtena na 4 251,4 Kč při celkové spotřebě 817,5 kWh,
- cena dodávaných polotovarů činí při 30 Kč·kg⁻¹ 97 383 Kč,
- cena výroby 1 ks hřídele na strojích byla zkalkulována na 46 Kč, série činí 69 000 Kč,
- při ceně výkupu třísek 3,5 Kč·kg⁻¹ bude zisk činit 6 610 Kč,
- pro zajištění výroby je prvotní návrh výrobní plochy 48 m², výrobu lze provozovat na 1 směnu s 1 pracovníkem na každém stroji, kdy efektivní časový fond stroje pro rok 2019 činí 1767 hod.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 158 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-214-2219-X.
2. KUBÍK, Roman a Jan STREJČEK. *Technologické projekty a manipulace s materiálem*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2015, 183 stran : ilustrace. ISBN 978-80-214-5260-2.
3. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 1. díl, Polotovary a jejich technologičnost. 2.*, upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. : il. ; 21 cm. ISBN 80-7183-244-8.
4. KOČMAN, Karel a Jiří PERNIKÁŘ. *Ročníkový projekt II – obrábění*. [online]. [cit. 2019-04-16]. Zpracováno v rámci projektu studijních opor v kombinované formě bakalářského studia "Strojírenská technologie". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002, 26 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf
5. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5.*, upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, xiv, 927 s. : obr., tabulky. ISBN 978-80-7361-081-4.
6. *Bohdan Bolzano, s.r.o.: Přehled vlastností ocelí C45* [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukce-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-c45>
7. *Bohdan Bolzano, s.r.o.: EBMservice.com* [online]. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: http://www.ebm-service.com/php/karta_tisk.php?typ=SKLZ&idcko=27191603&osekat=0&target=
8. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. : il. ; 25 cm. ISBN 80-7204-248-3.
9. Změna mechanických vlastností při popouštění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006/06 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zmena-mechanickych-vlastnosti-pri-popousteni.html>
10. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-7204-722-2.
11. *PILOUS: Pásové pily na kov* [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/hydraulicko-gravitacni/arg-250-h>
12. *Kovoobrábění Brázdil: Soustružnický poloautomat Hardinge Talent* [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <http://www.kovoobrabeni-brazdil.cz/cz/stroje.htm>
13. *TOS HOSTIVÁŘ, s.r.o.: Univerzální hrotové brusky* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: http://www.toshostivar.cz/ub_25_cnc

14. *Q.T.S-nyty spol. s.r.o. Bohumín: Průmyslové pračky Simplex 60/80* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://www.qts-nyty.cz/cz/simplex-60-80>
15. *M&B Calibr, spol. s r.o.: Měřicí technika* [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://eshop.mbcaltbr.cz/>
16. *DORMER PRAMET: PRAMET KATALOG 2017* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/downloads/pramet%20catalogue%202017_updated_set%204_cz-ru-pl-sk.pdf
17. *DORMER PRAMET: DORMER KATALOG 2018* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/downloads/dormer%20catalogue%202018_updated_set%204_cz-ru-pl-sk.pdf
18. *SANDVIK Coromant: Slinované rotační nástroje 2018* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/cs/solid_round_tools_2018/
19. *TYROLIT: Katalog skladových výrobků pro univerzální broušení 2016* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.tyrolit.cz/fileadmin/Documents/Trade/Catalogues/TYROLIT_CZ_2016_A5_Univerza__lni__.pdf
20. *SANDVIK Coromant: Použití řezné kapaliny a chlazení při soustružení* [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/how-to-apply-coolant-and-cutting-fluid-in-turning.aspx>
21. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
22. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění-I. část* [online]. *Studijní opory pro magisterskou formu studia*. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
23. *EVECO Brno, s.r.o.: Topný systém kalici a popouštěcí pece* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.evecobrno.cz/reference/topny-system-kalici-popousteci-pece>
24. *E.ON Rádce: Jaká je cena kWh energie?* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/cena-kwh>
25. *HEXAGON manufacturing intelligence: Edgcam soustružení* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <http://www.edgcamcz.cz/edgcam-turning>
26. ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015, 240 s. : il. ISBN 978-80-247-5269-3.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

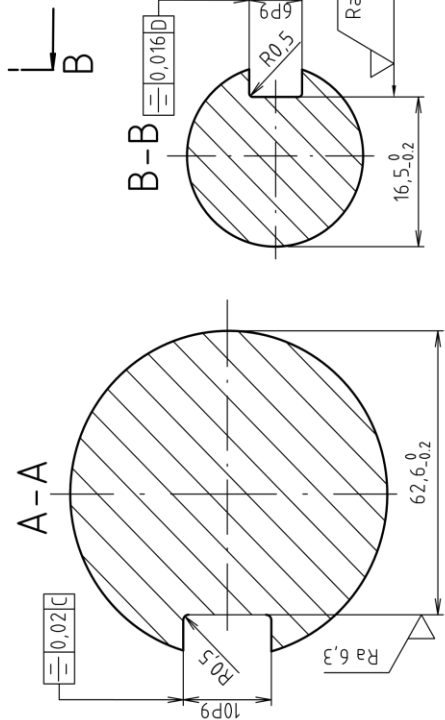
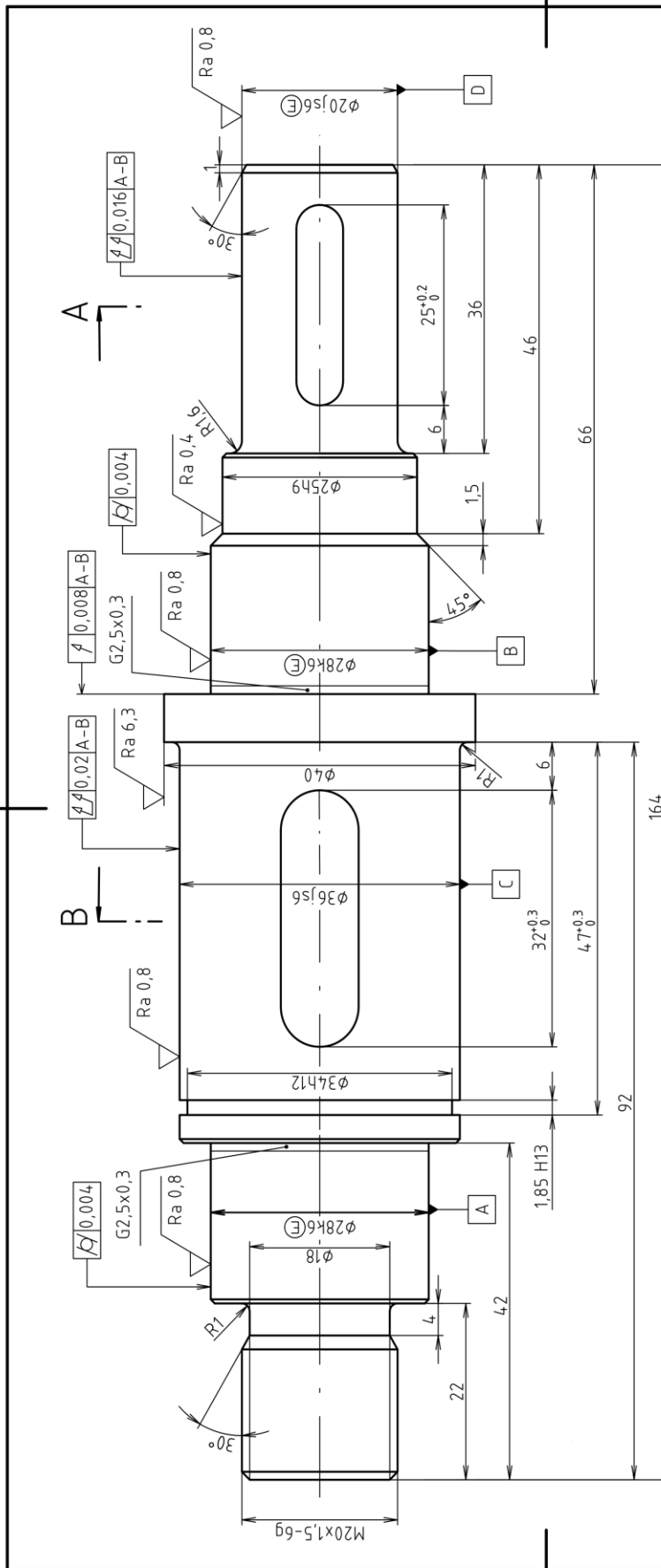
Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
A_T	[mm ²]	plocha průřezu jednoho úběru
C	[Kč]	cena za 1 ks přířezu
CAD	[-]	počítačová podpora konstruování
C_{kc}	[Kč]	cena výroby roční plánované série 1500 ks hřídelí
C_{ks}	[Kč]	cena výroby 1 ks hřídele
CNC	[-]	počítačem řízený systém
D	[mm]	největší průměr součásti
d	[mm]	průměr tyče
D_p	[mm]	průměr přířezu
E	[kW]	celková spotřebovaná energie
E_s	[-]	efektivní časový fond stroje
f	[mm]	posuv na otáčku
F_p	[m ²]	pomocná podlahová plocha
F_s	[m ²]	výrobní plocha strojních pracovišť
F_v	[m ²]	celková provozní plocha obrobny
HM	[-]	karbid
H_i	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu Ra
HSS	[-]	high speed steel; rychlořezná ocel
i	[-]	počet třísek
k_m	[-]	stupen využití materiálu
KO	[-]	konstrukční ocel
k_{pns}	[-]	koeficient překračování norem
L	[mm]	délka součásti
L_k	[mm]	ztráty z nevyužitelného konce materiálu na tyč
L_{nt}	[mm]	nevyužitá délka přebytečné části poslední tyč
L_p	[mm]	délka přířezu
L_t	[mm]	délka tyče
m_{nt}	[kg]	hmotnost nevyužitých částí poslední tyče
m_t	[kg]	hmotnost tyče
m_{tc}	[kg]	celková hmotnost potřebných tyčí
n	[min ⁻¹]	frekvence otáček
N	[ks]	výrobní dávka za rok
NC	[-]	numerical control; číslicové řízení
$n_{\check{c}}$	[-]	četnost výskytu všech hodnot
n_i	[-]	četnost výskytu dané hodnoty
N_{ks}	[ks]	počet přířezů na jednu tyč
N_m	[kg·j ⁻¹]	norma spotřeby materiálu
N_{tc}	[ks]	celkový počet potřebných tyčí
N_{tp}	[ks]	zbývající počet přířezů pro poslední tyč
P	[kW]	pohon hlavního motoru
p	[mm]	přídavek na průměr
P_i	[μm]	toleranční stupeň IT dané operace
P_{th}	[-]	potřebný počet strojů pro provedení dané operace
Q	[cm ³ ·min ⁻¹]	výkonnost obrábění
q_k	[kg·j ⁻¹]	ztráty vzniklé z nevyužitelného konce tyče na jednici

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
q_o	$[\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$	ztráty vzniklé obráběním na jednici
Q_p	$[\text{kg}]$	hmotnost přířezu
Q_s	$[\text{kg}]$	čistá hmotnost součásti
q_u	$[\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$	ztráty vzniklé dělením tyče na jednici
R_a	$[\mu\text{m}]$	střední aritmetická úchylka profilu
t_{AS}	$[\text{min}]$	jednotkový strojní čas
t_k	$[\text{min}]$	čas potřebný pro provedení dané operace na stroji
T_{opt}	$[\text{min}]$	optimální trvanlivost ostří nástroje
u	$[\text{mm}]$	ztráta dělením tyče
U_h	$[\mu\text{m}]$	ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy
U_m	$[-]$	ukazatel využití materiálu
U_p	$[-]$	ukazatel průměrné přesnosti
V	$[\text{m}^3]$	objem přířezu
VBD	$[-]$	vyměnitelná břitová destička
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	řezná rychlost
v_f	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	rychlost posuvu
v_w	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	obvodová rychlost
z_m	$[\text{kg} \cdot \text{j}^{-1}]$	celkové ztráty při výrobě na jednici
z_{mc}	$[\text{kg}]$	celkové ztráty materiálu v sérii
λ	$[-]$	štíhlostní poměr
ρ	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	hustota oceli

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výrobní výkres hřídele
Příloha 2	Materiálový list oceli C45R
Příloha 3	Technologický postup
Příloha 4	Operační návodky
Příloha 5	Systém značení nožů ISO–vnější soustružení
Příloha 6	ISO–systém značení vyměnitelných břitových destiček
Příloha 7	Kódové značení nástrojů CoroMill Plura
Příloha 8	Značení tvaru, rozměrů a specifikace brousicích kotoučů Tyrolit
Příloha 9	Volba startovních řezných podmínek pro soustružení
Příloha 10	Vygenerované ISO kódy v NC programu
Příloha 11	Základní přehled přípravných funkcí G a pomocných funkcí M

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK



Nekřivené zkosení R0,5x45°

Závit chráněn

Kalit na HRC 58-3, popouští na teplotu 600 °C s výdrží 2 hodiny

Struktura povrchu: $\sqrt{Ra\ 3,2}$	Hrany: $\sqrt{L\ 0,2}$	Měřítko: 2:1	Přesnost ISO 2768-mK
Materiál: Č45R	Polotovary: $\phi 45-166$ ČSN EN 10083-2	Hmotnost: 0,813 kg	Sestava
Druh dokumentu: VÝROBNÍ VÝKRES	Název: HŘÍDEL	Chráněno podle ISO 16016	
Kreslil: ONDŘEJ VESELÝ	Číslo dokumentu: 2019-BP-192256		
Schválil:	Datum vydání: 6.2.2019		

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

PŘÍLOHA 2

Materiálový list oceli C45R [6].

Přehled vlastností oceli C45E (C45 R)														1.1191 (1.1201)				
Druh oceli	Nelegovaná ušlechtilá ocel k zušlechťování																	
TDP	ČSN EN 10083-2: 2007. Tato norma obsahuje též ocel C45, klasifikovanou jako jakostní ocel k zušlechťování. Oceli C45 nelze nahradit ušlechtilé oceli C45E popř. C45R. C45 však lze nahradit ocelmi C45E resp. C45R.																	
Dřívější označení	C45E (C45R) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; Ck 45 (Cm 45) podle DIN 17200; 12 050 podle ČSN.																	
Použití	Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechťeném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná i k povrchovému kalení plamenem nebo indukci.																	
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. ¹⁾	Cr max.	Mo max.	Ni max.	Cr+Mo+Ni									
	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,030	0,035	0,40	0,10	0,40	max. 0,63									
Složení hotového výrobku ²⁾	0,40-0,52	0,43	0,46-0,84	0,035	0,040	0,45	0,13	0,45										
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. ³⁾	Průměr mm		R _e min. MPa		R _m MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J							
	d ≤ 16		490		700-850		14		35									
	16 < d ≤ 40		430		650-800		16		40		25							
	40 < d ≤ 100		370		630-780		17		45		25							
Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném ³⁾	d ≤ 16		340		min. 620		14		-		-							
	16 < d ≤ 100		305		580		16		-		-							
	100 < d ≤ 250		275		560		16		-		-							
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost (+S)				Žíháno na měkko (+A)				Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)									
	HB max. 255				HB max. 207				HRC min. 55									
Prokalitelnost ⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm																	
	Tvrdost v HRC																	
		Mez	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25	30
	+H	max	62	61	61	60	57	51	44	37	34	33	32	31	30	-	-	-
		min	55	51	37	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	-	-	-
<div><div><p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)</p><p>Tvrdost v HRC</p><p>Teplota popuštění st.C</p></div><div><p>Křivky prokalitelnosti</p><p>Tvrdost v HRC</p><p>Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm</p><p>— H max — H min</p></div></div>																		
Technologické vlastnosti																		
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C																	
Teplné zpracování	Normalizační Žíhání °C	Žíhání na měkko °C	Isotermické Žíhání °C	Teplota Kalení °C	Kalící prostředí	Teplota popuštění °C	Zkouška kalením čela °C											
	840 až 880	650 až 700	800 až 950 660 -1 hod.	820 až 860	voda nebo olej	550 až 660	850 ± 5											
Obrobitelnost	Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokalitelnosti.) Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při horní hranici při kalení do oleje. Jako kalící prostředí lze použít i syntetické kapaliny-emulze.																	
Obrobitelnost	Obrobitelnost tržkovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížená vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhaný na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel C45R se zvýšeným obsahem S.																	
Stříhatelnost	Přichází v úvahu např. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápuskové kování. Ocel C45 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování u průměrů nad 80 mm.																	

¹⁾ obsah síry u oceli C45R je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

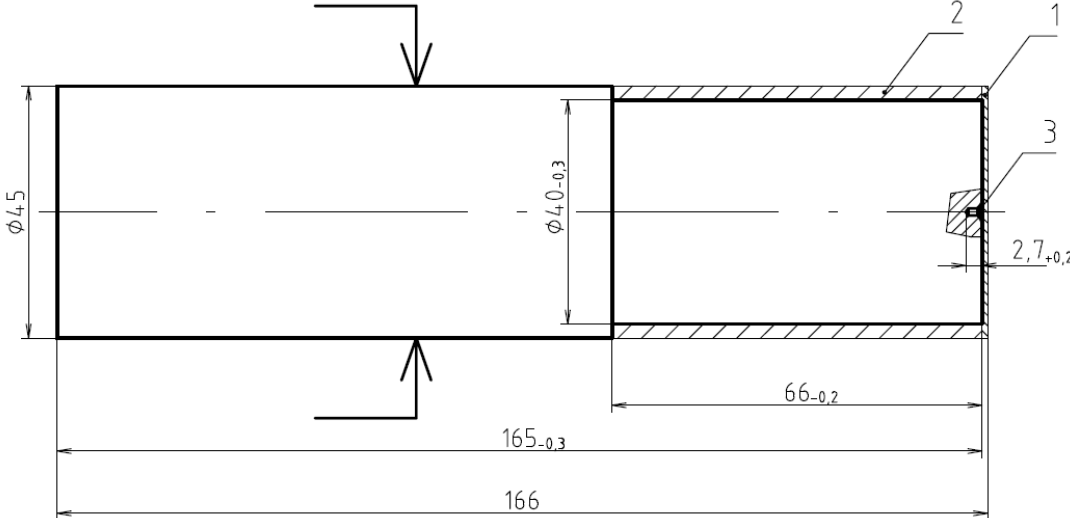
³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení popř. normalizačním žíhání) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.
R_e –mez kluzu, R_m – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L₀ = 5,65√S₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie		TECHNOLOGICKÝ POSTUP			Součást: Hřídel
Zhotovil: Veselý Ondřej	Polotovár: Ø45-166 ČSN EN 10083-2	Materiál: C45R	Výrobní dávka: 1500 ks/rok	Hrubá / čistá hmotnost: 2,072 kg / 0,813 kg	
Číslo op.	Výrobní stroj	Pracoviště	Popis práce		Nástroje
0/0	Pásová pila Pilous ARG 250 H	Sklad	Upnout za Ø 45 Řezat na délku 166 _{-0,3}		P1
1/1	OTK		Kontrolovat rozměr 166 _{-0,3} s četností 5 %		M1
2/2	Poloautomatický soustruh Hardinge Talent 8/52	Obrobna	Upnout do sklíčidla Zarovnat čelo na délku 165 _{-0,3} Soustružit Ø 45 na Ø 40 _{-0,3} v délce 66 _{-0,2} Navrtat středící důlek A200 do hl. 2,7 _{+0,2}		T1 T2
3/3	Poloautomatický soustruh Hardinge Talent 8/52	Obrobna	Otočit a upnout do sklíčidla za Ø 40 _{-0,2} Zarovnat čelo na délku 164 _{-0,2} Soustružit Ø 45 na Ø 40 _{-0,3} v délce 98 (164-66) Ponechat 1 mm na čelech pro konturu profilu Soustružit Ø 40 _{-0,3} na Ø 38 _{-0,3} v délce 91 _{-0,3} Soustružit Ø 38 _{-0,3} na Ø 30 _{-0,3} v délce 41 _{-0,3} Soustružit Ø 30 _{-0,3} na Ø 22 _{-0,3} v délce 21 _{-0,3} Soustružit konturu dle výkresu na poločisto: Ø 22 _{-0,3} na Ø 20 _{-0,2} v délce 18 _{-0,2} (22-4) Ø 20 _{-0,2} na Ø 18 _{-0,2} v délce 4 _{-0,2} , zakončit R1 Ø 30 _{-0,3} na Ø 28,3 _{-0,3} v délce 20 _{-0,2} (42-22) Zkosení 0,5x45° Zápich G2,5x0,3 Ø 38 _{-0,3} na Ø 36,3 _{-0,3} v délce 50 _{-0,2} (92-42); R1 Zápich 1,85 H13 do Ø 34 h12 Řezat závit M20x1,5-6g Navrtat středící důlek A200 do hl. 2,7 _{+0,2}		T1 T2 T3 T4
4/4	OTK		Kontrola rozměrů s četností 10 %: Délka 164 _{-0,2} , Ø 40 _{-0,3} M20x1,5-6g Ø 18 _{-0,2} v délce 4 _{-0,2} , délka 22 _{-0,2} Ø 28,3 _{-0,3} v délce 42 _{-0,2} Zápich 1,85 H13 do Ø 34 h12 Ø 36,3 v délce 50 _{-0,2} Zápich G2,5x0,3		M1 M4
5/5	Poloautomatický soustruh Hardinge Talent 8/52	Obrobna	Otočit a upnout do sklíčidla za Ø 36,3 _{-0,3} Ponechat 1 mm na čelech pro konturu profilu Soustružit Ø 40 _{-0,3} na Ø 30 _{-0,3} v délce 65 _{-0,3} Soustružit Ø 30 _{-0,3} na Ø 27 _{-0,3} v délce 46 _{-0,3} Soustružit Ø 27 _{-0,3} na Ø 22 _{-0,3} v délce 35 _{-0,3} Soustružit konturu dle výkresu na poločisto: Ø 22 _{-0,3} na Ø 20,3 _{-0,3} v délce 36 _{-0,2} vč. 1x30° Zápich G2,5x0,3 Ø 27 _{-0,3} na Ø 25,3 _{-0,3} v délce 10 (46-36) včetně zkosení 0,5x45° Zkosit 45° v délce 1,5 _{-0,2} Ø 30 _{-0,3} na Ø 28,3 _{-0,3} v délce 20 (66-46) Zápich G2,5x0,3		T2

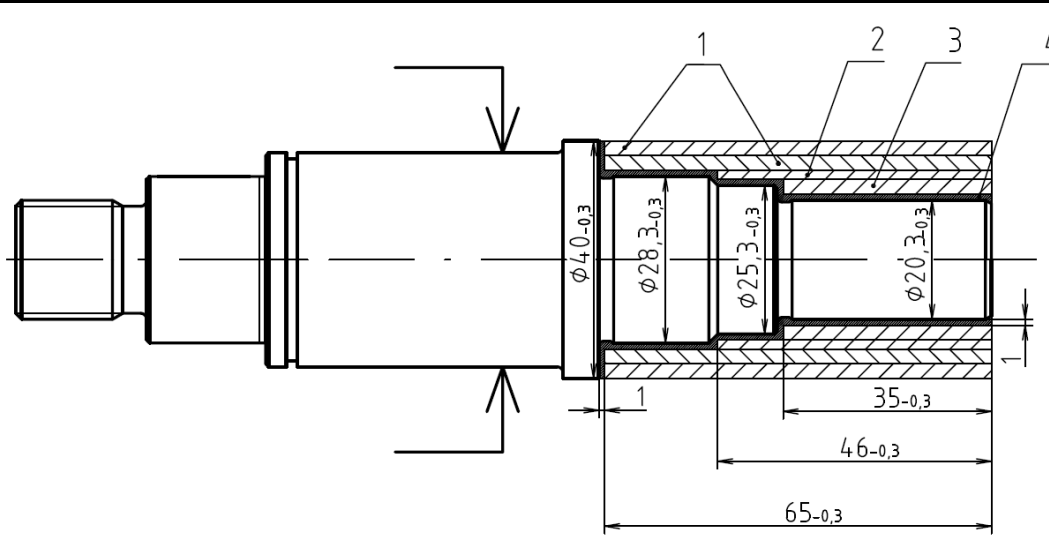
PŘÍLOHA 3 (2/2)
Technologický postup.

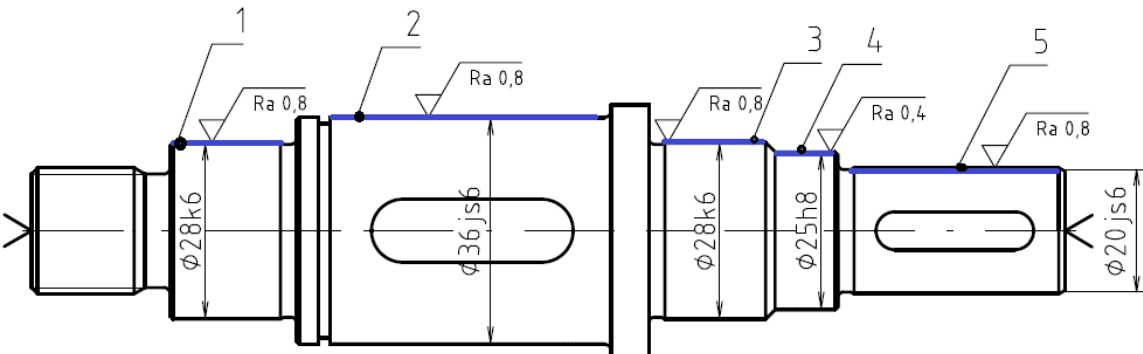
VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie		TECHNOLOGICKÝ POSTUP			Součást: Hřídel
Zhotovil: Veselý Ondřej	Polotovár: Ø45-166 ČSN EN 10083- 2	Materiál: C45R	Výrobní dávka: 1500 ks/rok	Hrubá / čistá hmotnost: 2,072 kg / 0,813 kg	
Číslo op.	Výrobní stroj	Pracovišt ě	Popis práce		Nástroje
6/6	OTK		Kontrola rozměrů s četností 10 %: Ø 20,3 ^{-0,3} v délce 36 ^{-0,2} Ø 25,3 v délce 10 ^{-0,2} Ø 28,3 v délce 20 ^{-0,2} Zápich G2,5x0,3		M1
7/7	Poloautomatický soustruh Hardinge Talent 8/52	Obrobna	Upnout do sklíčidla Ø 28,3 ^{-0,3} a dorazit na čelo Podepřít hrotem v koníku Spustit radiální poháněný nástrojový držák Algra Frézovat drážku 10 P9x32 ^{+0,3} do Ø 31,3 ^{-0,2} Frézovat drážku 6 P9x25 ^{+0,2} do Ø 16,5 ^{-0,2}		T5 T6
8/8	OTK		Kontrola rozměrů s četností 10 %: Drážka 10 P9x32 ^{+0,3} do Ø 31,3 ^{-0,2} Drážka 6 P9x25 ^{+0,2} do Ø 16,5 ^{-0,2}		M1 M2
9/9	Průmyslová pračka Simplex 60	Obrobna	Očistit obrobek		
10/10	Kooperace	Kalírna	Kalit na HRC 58 ⁻³ , popustit na teplotu 600 °C s výdrží 2 hodiny		
11/11	Průmyslová pračka Simplex 60	Obrobna	Očistit obrobek		
12/12	Univerzální hrotová bruska UB 25-630 CNC	Obrobna	Upnout mezi hroty Brousit Ø 28,3 ^{-0,3} na Ø 28 k6(^{+0,015} ^{+0,002}) Ra 0,8 Brousit Ø 36,3 ^{-0,3} na Ø 36 js6(±0,008) Ra 0,8 Brousit Ø 28,3 ^{-0,3} na Ø 28 k6(^{+0,015} ^{+0,002}) Ra 0,8 Brousit Ø 25,3 ^{-0,3} na Ø 25 h8 (^{-0,033}) Ra 0,4 Brousit Ø 20,3 ^{-0,3} na Ø 20 js6 (±0,008) Ra 0,8		B1
13/13	Průmyslová pračka Simplex 60	Obrobna	Očistit obrobek		
14/14	OTK		Kontrola vzhledem 100 % Tolerance válcovitosti 0,004 na Ø 28 k6 Celkové obvodové házení 0,02 na Ø 36 js6 Celkové obvodové házení 0,016 na Ø 20 js6 Čelní kruhové házení 0,008 na Ø 28 k6 Závit M20x1,5-6g Hodnota Ra 0,8 na Ø 28 k6, Ø 36 js6, Ø20js6 Hodnota Ra na Ø 25 h8 Tolerance souměrnosti 0,02 drážky 10 P9 Tolerance souměrnosti 0,016 drážky 6 P9		M3 M4 M5
15/15		Sklad	Paletizovat součást, expedovat.		

VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie	OPERAČNÍ NÁVODKA	Pracoviště: Obrobna	Zhotovil: Veselý Ondřej	Č. op.: 2/2					
Náčrt:									
									
Stroj: Poloautomatický soustruh Hardinge Talent 8/52									
i.	Úkon	Nástroj:	v_c : [m·min ⁻¹]	n : [min ⁻¹]	f : [mm]	a_p : [mm]	i : [-]	L : [mm]	t_{AS} : [min]
1.	Zarovnání čela	T2	220	1556	0,35	1	1	22,5	0,021
2.	Soustružení	T2	220	1556	0,35	2,5	1	67	0,123
3.	Navrtávání	T1	25	3183	0,06	3,5	1	4,5	0,024
Σt_{AS}									0,168

Náčrt:

[illegible]

VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie		OPERAČNÍ NÁVODKA		Pracoviště: Obrobna		Zhotovil: Veselý Ondřej		Č. op.: 5/5	
Náčrt:									
									
Stroj: Poloaautomatický soustruh Hardinge Talent 8/52									
i.	Úkon	Nástroj:	v_c : [m·min ⁻¹]	n : [min ⁻¹]	f : [mm]	a_p : [mm]	i : [-]	L : [mm]	t_{AS} : [min]
1.	Soustružení	T2	220	1750;2000 [□]	0,35	2,5	2	66	0,202
2.	Soustružení	T2	220	2335	0,35	1,5	1	47	0,058
3.	Soustružení	T2	220	2594	0,35	2,5	1	36	0,040
4.	Soustružení kontury	T2	220	—	0,20	1	1	75	0,122
[□] Dvě hodnoty otáček z důvodu i = 2									$\sum t_{AS}$ 0,422

VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie	OPERAČNÍ NÁVODKA	Pracoviště: Obrobna	Zhotovil: Veselý Ondřej	Č. op.: 12/12					
Náčrt:									
									
Stroj: Univerzální hrotová bruska UB 25-630 CNC									
i.	Úkon:	Nástroj:	v_c : [m·s ⁻¹]	v_w : [m·min ⁻¹]	n_w : [min ⁻¹]	f_r : [mm]	p : [mm]	L : [mm]	t_{AS} : [min]
1.	Broušení	B1	40	20	225	0,005	0,3	17	0,173
2.	Broušení	B1	40	20	175	0,005	0,3	44	0,222
3.	Broušení	B1	40	20	225	0,005	0,3	17	0,173
4.	Broušení	B1	40	20	252	0,005	0,3	9,5	0,155
5.	Broušení	B1	40	20	314	0,005	0,3	32,5	0,125
pozn.: p = přírůstek na broušení vztažený na průměr v_w = obvodová rychlost obrobku koeficient vyjiskření k = 1,3									$\sum t_{AS}$ 0,848

PŘÍLOHA 5

Systém značení nožů ISO – vnější soustružení [16].

SYSTÉM ZNAČENÍ NOŽŮ ISO - VNĚJŠÍ SOUSTRUŽENÍ SYSTÉM ZNAČENIA NOŽOV ISO - VONKAJŠIE SÚSTRUŽENIE			
1	2	3	4
Způsob upínání Spôsob upínania	Tvar destičky Tvar dosičky	Tvar nože - úhel nastavení Tvar noža - uhol nastavenia	Úhel hřbetu Uhol chrbta
C D P M S X G	S T R W L	A B C D E F G H J K L M N P Q R S T U V W X Y Z	α_n N C P $\alpha_n=0^\circ$ $\alpha_n=7^\circ$ $\alpha_n=11^\circ$
			5
			Směr řezu Smer rezu
			R L N

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	C	L	N	R	- 32	25	L	12	- S

6	7	10	8	9
Výška držáku [mm] Výška držáka [mm]	Šířka držáku [mm] Šířka držáka [mm]	Údaje výrobce Údaje výrobcu	Celková délka Celková dĺžka	Velikost destičky Veľkosť dosičky
08 10 12 16 20 25 32 38 40 45 50 60	08 10 12 16 20 25 32 38 40 45 50 60	M S	l_1 [mm] D 60 E 70 F 80 H 100 J 110 K 125 L 140 M 150 N 160 P 170 Q 180 R 200 S 250 T 300 U 350 V 400 W 450 X Spec. Y 500	d [mm] S C D V K W T R 06 08 10 12 15 16 19 22 25 27 38

PŘÍLOHA 6

















ISO—systém značení vyměnitelných břitových destiček [16].



ISO - SYSTÉM ZNAČENÍ VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK



ISO kód	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	T	N	U	N	22	04	08			
	T	N	M	G	22	04	08	E	N	- M

1	1		
Typ destičky Форма пластины Kształt płytki Typ destičky			
H		G	
P		K	
S		T	
C		D	
E		M	
V		W	
L		A	
B		K	

2			2
Úhel břítové destičky زاوية الغضار Kąt przyłożenia Úhel čela destičky			
A		B	
C		D	
E		F	
G		N	
P		O	Speciální Čtyřhranný profil Speciality Специал

3	3	3	3
Tolerance / Tolerance / Tolerance / Tolerance	Tolerance / Tolerance / Tolerance / Tolerance	Tolerance / Tolerance / Tolerance / Tolerance	Tolerance / Tolerance / Tolerance / Tolerance
A	0.05	0.025	0.025
F	0.05	0.025	0.025
C	0.013	0.025	0.025
H	0.013	0.025	0.025
E	0.025	0.025	0.025
G	0.025	0.025	0.025
J	0.05	0.025	0.025
K	0.013	0.025	0.025
L	0.025	0.025	0.025
M	0.05	0.025	0.025
N	0.05	0.025	0.025
U	0.05	0.025	0.025

4	4	4	4
Provedení destičky	Provedení destičky	Provedení destičky	Provedení destičky
N			
R			
F			
A			
M			
G			
W			
T			
Q			
U			
B			
H			
C			
J			
X			

5	5	5	5
Velikost destičky	Velikost destičky	Velikost destičky	Velikost destičky
H			
O			
P			
S			
T			
D			
E			
M			
V			
W			
R			
K			

6	6	6	6
Typ destičky	Typ destičky	Typ destičky	Typ destičky
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			
H			
I			
J			
K			
L			
M			
N			
O			
P			
Q			
R			
S			
T			
U			
V			
W			
X			
Y			
Z			

7	7	7	7
Radius destičky	Radius destičky	Radius destičky	Radius destičky
00	0	0°	
01	0.1	1/25°	
02	0.2	1/12.5°	
03	0.3	1/6.25°	
04	0.4	1/3.125°	
05	0.5	1/1.562°	
06	0.6	1/0.781°	
07	0.7	1/0.391°	
08	0.8	1/0.195°	
09	0.9	1/0.098°	
10	1.0	1/0.049°	
11	1.1	1/0.024°	
12	1.2	1/0.012°	
13	1.3	1/0.006°	
14	1.4	1/0.003°	
15	1.5	1/0.001°	
16	1.6	1/0.0005°	
17	1.7	1/0.00025°	
18	1.8	1/0.000125°	
19	1.9	1/0.0000625°	
20	2.0	1/0.00003125°	
21	2.1	1/0.000015625°	
22	2.2	1/0.0000078125°	
23	2.3	1/0.00000390625°	
24	2.4	1/0.000001953125°	
25	2.5	1/0.0000009765625°	
26	2.6	1/0.00000048828125°	
27	2.7	1/0.000000244140625°	
28	2.8	1/0.0000001220703125°	
29	2.9	1/0.00000006103515625°	
30	3.0	1/0.000000030517578125°	
31	3.1	1/0.0000000152587890625°	
32	3.2	1/0.00000000762939453125°	
33	3.3	1/0.000000003814697265625°	
34	3.4	1/0.0000000019073486328125°	
35	3.5	1/0.00000000095367431640625°	
36	3.6	1/0.000000000476837158203125°	
37	3.7	1/0.0000000002384185791015625°	
38	3.8	1/0.00000000011920928955078125°	
39	3.9	1/0.000000000059604644775390625°	
40	4.0	1/0.0000000000298023223876953125°	
41	4.1	1/0.00000000001490116119384765625°	
42	4.2	1/0.000000000007450580596923828125°	
43	4.3	1/0.0000000000037252902984619140625°	
44	4.4	1/0.00000000000186264514923095703125°	
45	4.5	1/0.000000000000931322574615478515625°	
46	4.6	1/0.0000000000004656612873077392578125°	
47	4.7	1/0.00000000000023283064365386962890625°	
48	4.8	1/0.000000000000116415321826934814453125°	
49	4.9	1/0.0000000000000582076609134674072265625°	
50	5.0	1/0.00000000000002910383045673370361328125°	
51	5.1	1/0.000000000000014551915228366851806640625°	
52	5.2	1/0.0000000000000072759576141834259033203125°	
53	5.3	1/0.00000000000000363797880709171295166015625°	
54	5.4	1/0.000000000000001818989403545856475830078125°	
55	5.5	1/0.0000000000000009094947017729282379150390625°	
56	5.6	1/0.00000000000000045474735088646411895751953125°	
57	5.7	1/0.000000000000000227373675443232059478759765625°	
58	5.8	1/0.0000000000000001136868377216160297393798828125°	
59	5.9	1/0.00000000000000005684341886080801486968994140625°	
60	6.0	1/0.000000000000000028421709430404007434844970703125°	
61	6.1	1/0.0000000000000000142108547152020037174224853515625°	
62	6.2	1/0.00000000000000000710542735760100185871124267578125°	
63	6.3	1/0.00000000000000000355271367880050092935562113671875°	
64	6.4	1/0.00000000000000000177635683940025046467781056889578125°	
65	6.5	1/0.00000000000000000088817841970012523233890528444796875°	
66	6.6	1/0.0000000000000000004440892098500626161694526422239375°	
67	6.7	1/0.00000000000000000022204460492503130808472632111196875°	
68	6.8	1/0.00000000000000000011102230246251565404236316055984375°	
69	6.9	1/0.000000000000000000055511151231257827021181575279921875°	
70	7.0	1/0.0000000000000000000277555756156289135105907876399609375°	
71	7.1	1/0.00000000000000000001387778780781445675529539381998046875°	
72	7.2	1/0.000000000000000000006938893903907228377647696909990234375°	
73	7.3	1/0.0000000000000000000034694469519536141888238484549951171875°	
74	7.4	1/0.0000000000000000000017347234759768070944119242274975884375°	
75	7.5	1/0.00000000000000000000086736173798840354720596211374879421875°	
76	7.6	1/0.00000000000000000000043368086899420177360298106874397109375°	
77	7.7	1/0.000000000000000000000216840434497100886801490534371985546875°	

PŘÍLOHA 7

Kódové značení nástrojů CoroMill Plura [18].

Kódové značení nástrojů CoroMill® Plura

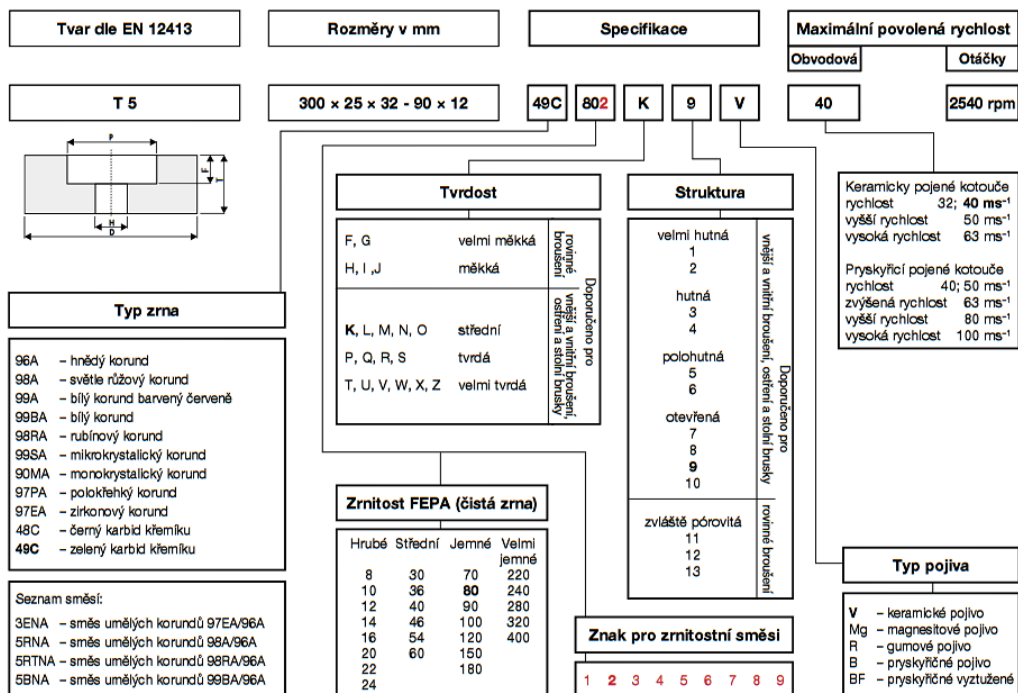


2	S	3	4	0	-	1200	-	200	-	M	A	1640
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		

1 Řada 1: Univerzální 2: Optimalizovaná	5 Pořadové číslo pro rozlišení označení typu nástroje
2 Geometrie čela S: Rovné čelo se zaoblením rohů, se středovými břitzy F: Rovné čelo se zaoblením rohů, bez středových břitů P: Rovné čelo, se středovými břitzy N: Rovné čelo, bez středových břitů B: Provedení s kulovým čelem C: Pro srážení hran H: Pro vysoké rychlosti posuvu U: Pro zaoblení hran T: Pro rotační frézování	6 Průměr řezu (DC) v 1/100. Např. 1200 = 12.00 mm
3 Úhel stoupání šroubovitě drážky pro odvod třísek 0: $0^\circ < FHA \leq 15^\circ$ 1: $15^\circ < FHA \leq 25^\circ$ 2: $25^\circ < FHA \leq 35^\circ$ 3: $35^\circ < FHA \leq 45^\circ$ 4: $45^\circ < FHA \leq 55^\circ$ 5: $55^\circ < FHA \leq 65^\circ$	7 Poloměr zaoblení rohů, zkosení nebo poloměr pro srážení hran v 1/100. Např. Poloměr zaoblení rohů 200 = 2 mm. Např. Zkosení 045 = 45°
4 Průměrná činná délka pro daný typ nástroje (APMX/DC) 0: 0-0.5 x DC 1: 0.6-1.0 x DC 2: 1.1-1.5 x DC 3: 1.6-2.0 x DC 4: 2.1-2.5 x DC 5: 2.6-3.0 x DC 6: 3.1-3.5 x DC 7: 3.6-4.0 x DC 8: 4.1-5.0 x DC 9: > 5.0 x DC	8 Řezná kapalina - Bez vnitřního přívodu řezné kapaliny C: S radiálním výstupem řezné kapaliny A: S axiálním výstupem řezné kapaliny
	9 Přednostní určení pro skupinu materiálů dle ISO P: ISO P K: ISO K M: ISO M S: ISO S H: ISO H N: ISO N O: ISO O X: Multimateriálové použití
	10 Stopka A: Válcová stopka B: Weldon C: Válcová stopka s krčkem D: Stopka Weldon s krčkem Y: S rozhraním iLock F: S rozhraním iLock a s krčkem G: Redukovaná
	11 Nástrojová třída











Značení tvaru, rozměrů a specifikace brousicích kotoučů Tyrolit [19].

ZNAČENÍ TVARU, ROZMĚRŮ A SPECIFIKACE



ПРÍЛОHA 9

Volba startovních řezných podmínek pro soustružení [16].

		P																				
				630	640	T3305	T3315	T7335	T9310	T9315	T9325	T9335	T9316	T9326	T9310	T9330	T9310	T9315	T9330	T9345	T9310	T9310
	I	0,05	0,5	-	-	425	360	-	-	-	-	-	-	-	275	225	320	290	275	-	440	460
	II	0,08	0,5	-	-	360	310	-	-	-	-	-	-	-	240	195	280	255	240	-	380	395
	III	0,10	0,5	-	-	330	285	-	-	-	-	-	-	-	225	185	265	240	225	-	355	370
	I	0,10	1,5	290	250	295	255	-	-	-	-	-	-	-	205	165	235	215	205	165	335	330
	II	0,15	1,5	265	230	280	245	225	220	355	320	285	245	-	195	160	230	210	195	160	325	315
	III	0,20	1,5	255	220	270	240	225	215	335	305	275	235	-	195	160	230	210	195	160	-	-
	I	0,20	2,5	240	210	260	230	210	205	320	290	260	225	-	185	150	215	195	185	150	-	-
	II	0,30	2,5	200	175	220	200	190	180	265	245	220	190	-	165	135	195	175	165	135	-	-
	III	0,40	2,5	190	165	210	190	180	170	245	225	205	175	-	160	130	185	170	160	130	-	-
	I	0,40	5,0	165	145	185	170	160	150	215	200	180	155	215	145	115	165	150	145	115	-	-
	II	0,60	5,0	140	120	160	145	140	130	180	170	150	135	175	145	125	105	150	135	125	105	-
	III	0,80	5,0	125	105	145	135	130	120	160	150	135	120	155	125	115	95	135	125	115	95	-
	I	0,80	12,0	70	65	80	75	80	75	95	90	80	70	95	75	-	-	-	-	70	50	-
	II	1,00	12,0	65	55	70	65	75	65	85	80	70	60	80	65	-	-	-	-	60	45	-
	III	1,30	12,0	55	45	60	60	65	60	70	70	60	50	70	55	-	-	-	-	55	40	-
		0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-	155	-	-
		0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	215	-	-	-	-	-	-	-	-	150	-	-
		0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	190	-	-	-	-	-	-	-	-	135	-	-
		0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	125	-	-
		0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	195	-	-	-	-	-	-	-	-	125	-	-
		0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	-
		0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	110	-	-
		0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	130	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	135	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Modře uvedené hodnoty platí pro obrábění s řeznou rychlostí / Значения, выделенные голубым цветом, действительны при работе с СОМ
Wartości na niebiesko wiążą się dla obróbki z chłodzeniem / Modre hodnoty platia pre obrábanie s řeznou rychlostí.

		KOREKCE / ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ / KOREKCE / KOREKCIJA v _c			
		P1	P2	P3	P4
k _{VB}	Tendost / Tendost / Tendost / Tendost	k _{VB} -P1	k _{VB} -P2	k _{VB} -P3	k _{VB} -P4
	120	1,53	1,18	0,94	0,71
	140	1,46	1,12	0,90	0,67
	160	1,37	1,05	0,84	0,63
	180	1,30	1,00	0,80	0,60
	200	1,24	0,95	0,76	0,57
	220	1,17	0,90	0,72	0,54
	240	1,12	0,86	0,69	0,52
	260	1,07	0,82	0,66	0,49
	280	1,04	0,80	0,64	0,48
	300	1,00	0,77	0,62	0,46
	320	0,96	0,74	0,59	0,44
	340	0,92	0,71	0,57	0,43
	360	0,88	0,68	0,54	0,41
	375	0,85	0,65	0,52	0,39
k _{VT (GM)}	10	1,10	30	0,84	
	15	1,00	45	0,76	
	20	0,93	60	0,71	
k _{VT (HM)}	30	1,10	60	0,93	
	45	1,00			
k _{VS}	Kůra výkovku a odlitku / Кора после литья иликовки / Kůra výkovku a odlitku			0,70 - 0,80	
	Vnitřní soustružení / Внутренняя обработка / Tócenie wewętrzne / Vnútročné sústruženie			0,75 - 0,85	
	Přerývaný řez / Прерывистое резание / Obrábka prerývaná / Prerývaný řez			0,80 - 0,90	
	Dobří stav stroje / Хорошее состояние станка / Dobre warunki obróbki / Dobry stav stroja			1,05 - 1,20	
	Špatný stav stroje / Плохое состояние станка / Złe warunki obróbki / Zły stav stroja			0,85 - 0,95	
k _{VL}	Tvar VBD / Форма пластины / Kształt płytki / Tvar VBD			k _{VL}	
	S _{...} , C _{...} , W _{...}			1,00	
	T _{...} , D _{...} , K _{...}			0,95	
	V _{...} , L _{...} (Upřichování a zarýchování / Отрезка и обработка канавок) / V _{...} , L _{...} (Przedanie i rowkowanie / Upřichovanie a zarýchovanie)			0,88	
	R _{...} , L _{...} (Hrubování / Тяжелое черновое точение) / R _{...} , L _{...} (Obrábka ciężko-zgrubna / Hrubovanie)			1,10	

Только для
Только для
Только для

VOĽBA STARTOVNÝCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK
ВЫБОР НАЧАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ
DOBÓRA POCCATOVNÝCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK
VOĽBA STARTOVNÝCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK



PŘÍLOHA 10

Vygenerované ISO kódy v NC programu pro soustružení operace 3/3.

```

%
O0001                               ;(hřidel 1 strana )
N001 G10 P00 Z-XXX
N003 G28 U0 W0 G40 G99 T00        ;(odjezd do referenčního bodu)
N005 T0101                         ;(výměna nástroje)
N007 G92 S1800                     ;(omezení otáček)
N009 G96 S80 M4                    ;(konst. řezná rychlost, nastavení posuvu)
N011 G0 X47.0 Z0.0
N013 M8                            ;(zapnutí čerpadla, chlazení)
N015 G1 X-1.0 F12.0
N017 G0 X45.0 Z2.0
N019 G1 X44.832 Z4.097 F0.3
N021 G1 X40.832
N023 G1 Z-91.95
N025 G1 X41.0
N027 G1 Z-100.05
N029 G1 X44.832
N031 G0 X46.246 Z-99.343
N033 G0 Z4.097
N035 G0 X36.832
N037 G1 Z-41.95
N039 G1 X37.0
N041 G1 Z-91.95
N043 G1 X40.832
N045 G0 X42.246 Z-91.243
N047 G0 Z4.097
N049 G0 X32.832
N051 G1 Z-41.95
N053 G1 X36.832
N055 G0 X38.246 Z-41.243
N057 G0 Z4.097
N059 G0 X28.832
N061 G1 Z-22.366
N063 G1 X29.0 Z-22.45
N065 G1 Z-41.774
N067 G2 X30.0 Z-41.95 R0.8
N069 G1 X32.832
N071 G0 X34.246 Z-41.243
N073 G0 Z4.097
N075 G0 X24.832
N077 G1 Z-21.95
N079 G1 X28.0
N081 G1 X28.832 Z-22.366
N083 G0 X30.246 Z-21.659
N085 G0 Z4.097
N087 G0 X20.832
N089 G1 Z-0.366
N091 G1 X21.0 Z-0.45
N093 G1 Z-21.95
N095 G1 X24.832
N097 G0 X26.246 Z-21.243
N099 G0 Z4.097
N101 G0 X20.0
N103 G1 Z0.05
N105 G1 X20.832 Z-0.366
N107 G0 X22.246 Z0.341
N109 G0 X44.832
N111 G0 Z4.097
N113 G28 U0 W0 M5 M9 T0           ;(odjezd do referenčního bodu)
N115 T0202                         ;(výměna nástroje)
N117 G92 S1800
N119 G96 S140 M4
N121 G1 X14.523 Z2.004 F0.15
N123 G1 X19.766 Z-0.617
N125 G3 X20.0 Z-0.9 R0.4           ;(kruhová interpolace, proti)
N127 G1 Z-16.668
N129 G3 X19.893 Z-16.868 R0.4
N131 G1 X18.0 Z-18.507
N133 G1 Z-22.0
N135 G1 X26.2
N137 G3 X26.766 Z-22.117 R0.4
N139 G1 X27.766 Z-22.617
N141 G3 X28.0 Z-22.9 R0.4
N143 G1 Z-39.9
N145 G3 X27.893 Z-40.1 R0.4
N147 G1 X27.454 Z-40.48
N149 G2 X27.4 Z-40.58 R0.2
N151 G1 Z-41.6
N153 G2 X28.2 Z-42.0 R0.4
N155 G1 X35.2
N157 G3 X36.0 Z-42.4 R0.4
N159 G1 Z-45.4
N161 G3 X35.735 Z-45.697 R0.4
N163 G1 X34.0 Z-46.478
N165 G1 Z-46.85
N167 G1 X35.2
N169 G3 X36.0 Z-47.25 R0.4
N171 G1 Z-92.0
N173 G1 X39.2
N175 G3 X40.0 Z-92.4 R0.4
N177 G1 Z-100.0
N179 G1 X48.0
N181 G28 U0 W0 M5 M9 T0
N183 T0303                         ;(výměna nástroje)
N185 G92 S1800
N187 G96 S40 M4
N189 G0 X38.0 Z-47.05
N191 M8
N193 G1 X34.0 F0.1
N195 G0 X40.0
N197 G28 U0 W0 M5 M9 T0
N199 T0404                         ;(výměna nástroje)
N201 G92 S1800
N203 G96 S480 M4
N205 G0 X22.0 Z-18.518
N207 M8
N209 G32 X19.241 F1.5             ;(řezání závitu, posuv)
N211 G32 Z1.75
N213 G32 X22.0
N215 G0 Z-18.518
N217 G32 X18.926
N219 G32 Z1.75
N221 G32 X22.0
N223 G0 Z-18.518
N225 G32 X18.685
N227 G32 Z1.75
N229 G32 X22.0
N231 G0 Z-18.518
N233 G32 X18.481
N235 G32 Z1.75
N237 G32 X22.0
N239 G0 Z-18.518
N241 G32 X18.302
N243 G32 Z1.75
N245 G32 X22.0
N247 G0 Z-18.518
N249 G32 X18.14
N251 G32 Z1.75
N253 G32 X22.0
N255 G0 Z-18.518
N257 G32 X18.14
N259 G32 Z1.75
N261 G32 X22.0
N263 G0 Z-18.518
N265 G32 X18.14
N267 G32 Z1.75
N269 G32 X22.0
N271 G0 Z-18.518
N273 G28 U0 W0 T0 ;(odjezd do referenčního bodu)
N275 M30                           ;(konec programu)
%
```

Základní přehled přípravných funkcí G a pomocných funkcí M – podle [10,26].

Přípravné funkce G	
Označení	Význam
G00	Rychloposuv
G01	Lineární interpolace
G02	Kruhová interpolace ve směru hod. ručiček
G03	Kruhová interpolace proti směru hod. ručiček
G04	Časová prodleva
G25	Skok do podprogramu
G26	Programový cyklus
G33	Cyklus řezání závitu
G54-59	Posuny nulového bodu
G64	Podélné hrubování
G66	Zapichovací cyklus
G68	Čelní hrubování
G73	Vrtání s přerušením
G78	Cyklus řezání závitu s kolmým přísuvem
G79	Řezání metrického závitu šikmým přísuvem
G81	Vrtání
G83	Vrtání s výplachem
G85	Vystružování
G90	Absolutní programování
G91	Přírůstkové programování
G95	Posuv na otáčku
G96	Konstantní řezná rychlost
G97	Přímé programování otáček
G98	Najetí do referenčního bodu

Pomocné funkce M	
Označení	Význam
M00	Zastavení stroje, otáček, programu
M03	Otáčky vřetene – proti směru
M04	Otáčky vřetene – po směru hod. ručiček
M05	Zastavení vřetene
M06	Výměna nástroje
M07-08	Zapnutí čerpadla
M09	Vypnutí čerpadla
M17	Konec podprogramu
M30	Konec hlavního programu
M99	Definice velikosti posuvu